

文章编号:1673-5005(2008)06-0012-05

松辽盆地西斜坡古沟谷-坡折带特征及其 对储层分布的控制

刘桂珍^{1,2,3}, 鲍志东^{1,2,3}, 王英民^{1,2,3}

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学 教育部石油天然气成藏机理
重点实验室, 北京 102249; 3. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249)

摘要: 利用井-震结合、地层对比、沉积相及古地貌分析等方式识别沟谷-坡折带, 重点分析了沟谷-坡折带特征及对储层分布的控制作用。研究表明: 松辽盆地西斜坡早白垩世发育的两极挠曲坡折带在平面上呈北东向展布; 沟谷顺物源分布, 垂直于坡折带走向; 在基准面旋回变化过程中, 沟谷-坡折带对沉积物的体积分配和相分异有特定的控制作用, 进而与储层的分布有着密不可分的关系; 沟谷是控制水系和沉积物搬运的通道, 坡折带是沉积物卸载的场所, 沟谷-坡折带体系控制了沉积物的类型和平面分布。

关键词: 松辽盆地; 沟谷-坡折带; 沉积物体积分配; 相分异; 储层分布

中图分类号: P 539.2

文献标识码: A

Characteristics of valley-slope break zone in the western slope of Songliao Basin and its control over reservoir distribution

LIU Gui-zhen^{1,2,3}, BAO Zhi-dong^{1,2,3}, WANG Ying-min^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Education of Ministry in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Through comprehensive study on well data and seismic profile, stratigraphic collection, sedimentary facies and palaeo geomorphology analysis, the valley-slope break zone was identified, and characteristics of the valley-slope break system and its control over reservoir distribution were emphatically analyzed. The results show that the two flexural slope breaks spread in NE direction in the western slope of Songliao Basin during the early Cretaceous period and the valley is vertical to the strike of slope break zone. The valley-slope break zone has specific control over sediment volume partitioning and facies differentiation during the change process of basal level, so it has close relation with reservoir distribution. The valley is the main transportation channels for drainage system and sediment, and the slope-break is the place of sediment unloading. So valley-slope break zone controls the sediment types and planar distribution.

Key words: Songliao Basin; valley-slope break zone; sediment volume partitioning; facies differentiation; reservoir distribution

近年来,通过研究坡折带来预测砂体的分布和寻找隐蔽油气藏取得了很大的成功。Galloway^[1]强调大陆斜坡对沉积体系的控制作用;Lemons^[2]分析了不同角度的斜坡对断陷盆地的沉积体系的控制作用;林畅松等^[3]通过对断陷湖盆内同沉积断层及其

组合样式对沉积体系发育及分布的控制作用的深入研究,认为“构造坡折”控制了沉积体系并提出了相应模式;王英民等^[4,5]探讨了拗陷湖盆坡折对沉积作用和相应沉积体系的控制作用。正如陆架坡折一样,湖盆中的沟谷-坡折对沉积物的分配起着重要的

收稿日期:2008-02-16

基金项目:国家自然科学基金项目(40272057)

作者简介:刘桂珍(1976-),女(汉族),甘肃武山人,博士研究生,从事层序地层和储层地质学的研究。

作用,沟谷是与坡折带相配套的古地貌单元,不同时期的沟谷-坡折带特征及匹配关系是控制储层分布的主要因素。笔者对松辽盆地沟谷-坡折带特征进行分析,并讨论其对储层分布的控制作用。

1 地质背景

松辽盆地是我国东北部大型中、新生代具有断拗双重结构的复合型陆相沉积盆地,总面积约 $2.6 \times 10^5 \text{ km}^2$,蕴藏有丰富的石油资源。白垩纪泉头组至嫩江组沉积时期为松辽盆地的拗陷期,在盆地断陷的基础上,区域伸张作用使盆地继续下降,沉积了青山口组和嫩江组两套巨厚的烃源岩,沉积地层总厚度约 5.0 km。西斜坡是盆地拗陷期所发育的一个一级构造单元,东临中央坳陷,西与西部山区相接,南与西南隆起区呈过渡关系(图 1)。在盆地南部西斜坡有西南部通榆和西部英台白城两大物源,形成保乾沉积体系和英台-红岗沉积体系,均见于泉头组、青山口组和姚家组。

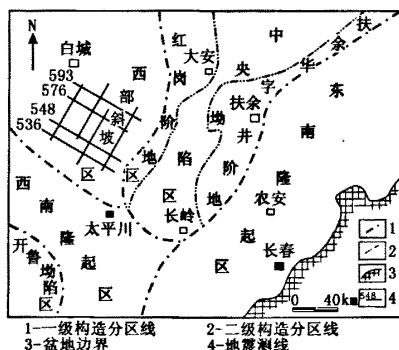


图 1 松辽盆地南部构造区划分

Fig. 1 Tectonic units in the south of Songliao Basin

2 沟谷-坡折带特征

坡折是地形发生突变的地带,无论在沉积盆地还是剥蚀区都广泛存在。通过对松辽盆地南部白垩系地层作简单的古地貌恢复,结合该区的地质特征,进行井震对比及连井剖面分析,在地震剖面和地层等厚图上,可清楚地看到两级挠曲坡折带分布。镇赉-安广-红岗-大安 593 测线(T1 拉平)地震剖面上表现为反射时间的急剧增大(图 2),地层等厚图上表现为等值线的密集分布(图 3(a)),自西向东为套保-通榆高位坡折带和龙虎泡-红岗-大麻苏低

位坡折带,在平面上分布在西斜坡缓坡带及与中央凹陷区的结合部;高位坡折带坡度较缓,低位坡折带坡度较陡,分布较连续;两者都呈北北东向展布。

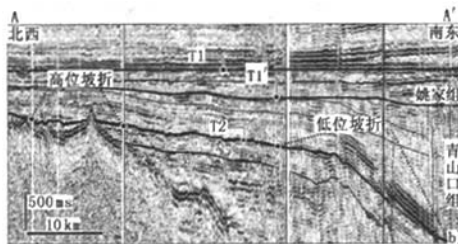


图 2 松辽盆地南部坡折带特征

Fig. 2 Characteristics of slope break zone in the south of Songliao Basin

松辽盆地南部白垩系坡折带的成因与盆地在拗陷期的演化过程中岩石圈隐伏断裂和地壳均衡调整作用的差异性有关。隐伏岩石圈断裂控制的不稳定基底部位有下伏断陷发育,中央凹陷、红岗阶地一带伸展作用表现较为强烈,大量发育张性断层,构成坳陷断裂体系;在中央凹陷、红岗阶地与西部斜坡的接触带,均衡调整作用逐渐下降,因此断裂相对不太发育,但引起了地壳的挠曲而形成挠曲坡折带。向西到西斜坡缓坡区,地壳的均衡调整作用很弱,裂谷充填之后发育东倾斜坡。因此,岩石圈隐伏断裂和地壳均衡调整作用的差异性造成古地貌的不同。

沟谷是与坡折带相伴生的一个古地貌单元,不仅在坡折带上倾地层可形成下切谷,而且坡折带上也可以形成由侵蚀沟谷、冲蚀水道等构成的带状负向地貌单元。模拟试验表明坡折带上下切谷的形成受到坡度、地形粗糙度、水流强度、湖平面等多种因素的制约^[6]。在松辽盆地南部西斜坡区发育的沟谷顺物源分布,垂直于坡折带走向(图 3)。青三段沉积时期,低位坡折带上倾地层发育两条大的沟谷,自北西向东南延伸,在海坨子地区坡折带上发育小沟谷和冲蚀水道,其规模小于坡折带上倾地层发育的沟谷。沟谷在地震剖面上表现为:

(1) 双向上超充填结构。由于地形起伏,后期地层在低洼处的厚度明显大于其两侧。

(2) 反射同相轴终止现象。由于流体侵蚀作用,破坏了早期地层的连续性。

沟谷-坡折带经常相伴而生,同时相互制约,沟谷的发育,通常影响坡折带发育的连续性。

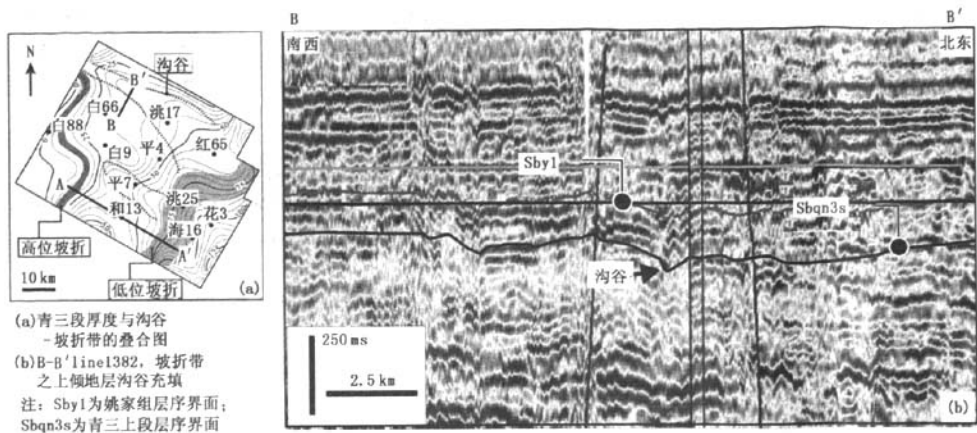


图3 青三段坡折带上倾方向沟谷特征(Sby1 拉平)

Fig.3 Characteristics of the updip direction of slope break zone and in member 3 of Qingshankou formation

3 沟谷-坡折带对储层分布的控制

3.1 沟谷-坡折带对沉积物体积分配和相分异的影响

3.1.1 沟谷-坡折带对沉积物体积分配的影响

Cross 将基准面旋回变化期间,在相同相域内保存不同沉积物体积的过程称为“沉积物体积分配”^[7-8]。

在松辽盆地西斜坡区,随着基准面的变化,低位坡折和高位坡折对沉积物的体积分配有着不同的影响(图4)。青山口组沉积期是松辽盆地深水拗陷湖盆期,自青山口组发生首次最大湖侵以来,青三段基准面比青一、青二段高。青三段沉积早期,低位坡折

带有如下特点:可容纳空间持续保持相对较大; $A/S \approx 1$ 为沉积物体积分配提供良好的卸载和保存场所;物源供应充足,沉积物快速卸载,低位坡折带以下沉积物堆积厚。高位坡折带基本位于浪击面波及范围,长期接受湖岸流、波浪的侵蚀和改造作用,可容纳空间小, $A/S \leq 1$;青三段沉积早期基本未接受沉积或发育小规模滨面沉积。

青三段沉积的中、晚期,基准面上升,此时低位坡折带可容纳空间持续增大, $A/S \gg 1$,低位坡折带以下沉积物处于饥饿状态,接受很少的沉积。高位坡折带可容纳空间相对较小, $A/S \approx 1$,为沉积物的卸载提供了良好的空间,沉积物优先堆积。

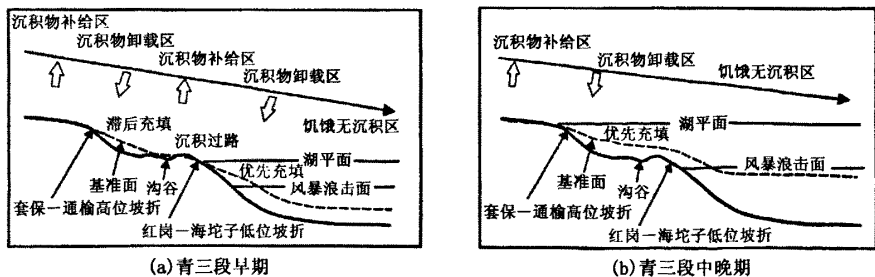


图4 青三段沉积时期 A/S 的变化与沉积物体积分配关系

Fig.4 Relation of ratios of accommodation space and sediment supply and sediment volume partitioning during the sedimentary period of member 3 of Qingshankou formation

从整个基准面变化过程来看,高位坡折长期处于沉积物频繁的卸载-充填-冲蚀-卸载的交替过程中,在基准面较低时保存条件相对较差,而在基准面较高时,高位坡折带下接受沉积。相反,低位坡折带

下在基准面较低时接受沉积,而在基准面较高时处于饥饿状态。因此在基准面旋回变化过程中,不同时期高位坡折带和低位坡折带对沉积物的体积分配有差异。随着基准面的上升,沉积物沉积体积向高

位坡折带方向迁移,随着基准面的下降,沉积物向低位坡折带方向迁移,总体上坡折带以下是沉积物堆积的潜在空间。

西斜坡发育的沟谷一方面控制白城和英台水系的分布,沟谷沿北西—东南走向是水系流入湖的方向,另一方面是西部物源输送的主要通道。青三段早期,基准面较低,可容纳空间相对较小,沟谷接受侵蚀,是输送沉积物的通道。自白城方向的物源,通过沟谷的输送,在低位坡折下接受沉积。青三段中晚期,基准面较高,可容纳空间增大,沟谷潜在可容纳空间都要大于相邻的其他区域,因此沟谷是沉积物卸载和优先堆积的场所。另外,受可容纳空间的影响,坡折带上的沟谷比坡折带之上倾地层发育的沟谷优先得到充填。

3.1.2 沟谷-坡折带对沉积物相分异的影响

Cross^[7]认为,基准面的上升和下降控制了可容纳空间的变化并进而影响了沉积物体积分配,使得保存在同一沉积环境中的相类型和相组合发生多样性的变化,将这一过程称之为“相分异”。

古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,对沉积体系的分布有着重要的控制作用。以钻井剖面相分析资料为基础,结合岩性、测井、井震结合特征及层序类型分析,研究松辽盆地南部拗陷期层序的构成,着重探讨其中沉积相的类型、发育和控制因素及沉积序列。松辽盆地南部青三段地层划分为两个三级层序,青三段底部层序各体系域沉积相演化特征表明,在基准面演化的不同阶段,沟谷-坡折带体系对沉积体系的控制有差异。

基准面较低的低水位时期(图5(a)),高位坡折下潜在的可容纳空间小,几乎不接受沉积,而低位坡折下有较大的可容纳空间。自西部白城方向的物源沿沟谷直接搬运遇到低位坡折时,在突然变陡的斜坡带顶部,由于限制水流的河道突然消失,沉积物散开并堆积下来,从而在低位坡折以下发生沉积。因此,低位坡折主要控制低位沉积体斜坡扇、湖底扇及下切谷的分布。

在基准面较高的水进和高位时期(图5(b), (c)),高位坡折下可容纳空间逐渐增大,自西部白城方向的物源沿沟谷搬运遇到高位坡折时,沉积物以三角洲为主的方式卸载。三角洲前缘的沉积物在遇到低位坡折时形成滑塌湖底扇。高位坡折主要控制三角洲的分布,低位和高位共同控制了湖底扇的分布。

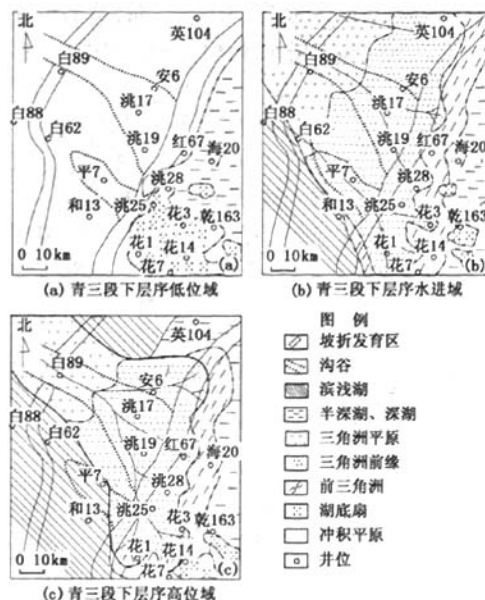


图5 青三段沉积时期坡折带与沉积相关系

Fig.5 Relation of slope break and sedimentary facies during sedimentary period of member 3 of Qingshankou formation

整个基准面的变化过程中,在基准面较低时期,低位坡折起主要作用,控制低位沉积体斜坡扇和湖底扇的分布;基准面较高时期,高位坡折起主要作用,控制三角洲的分布。坡折带成为相带的分异区。

3.2 沟谷-坡折带与储层分布

沟谷-坡折带的古地理格局及局部变化是控制沉积作用、过程及结果的重要因素,它控制了水系发育、物源输送、粗碎屑沉积以及沉积体性质、沉积中心区分布等,进而影响着储集层发育的位置和类型。

从松辽盆地南部青三段地层来看,低位坡折带附近所发育的储集体包括以下几种类型(图6):三级层序界面之上发育的斜坡扇、湖底扇以及下切河谷等低位沉积体,是松辽盆地南部今后开展岩性油气藏勘探的重要领域,主要分布在海坨子附近及红岗反转构造带南;水侵期的超覆体、湖岸滩坝沉积体主要分布在套堡反转构造带东地区;高水位时期物源充足,大规模发育进积型扇三角洲和三角洲体系,特别是具早期垂向加积、晚期前积特征的河口坝、分流河道为油气聚集提供主要的储集空间,主要分布在海坨子西和套堡反转构造带东地区。

沉积盆地的原始古地貌在基准面变化过程中通过对沉积物体积分配和相分异的影响,直接决定了沉积地层在平面上的展布和纵向上的组合规律。纵

向上,储集体主要分布在三级层序低位域的斜坡扇和湖底扇,水进域的滩坝砂体以及高位域的三角洲的河口坝和分流河道。平面上,沟谷-坡折的匹配是储层发育的必要条件,在物源充足的条件下,坡折带上下的砂体是储层发育的有利地区。松辽盆地西斜坡储层的发育具有如下特点:沟谷是控制水系和输送沉积物的通道,坡折带控制了砂体的展布,砂体一般在坡折带以下分布,砂岩厚度在坡折带以下增厚,层序界面是砂体发育的有利位置,沟谷-坡折带-层序界面的配置决定了砂体发育的有利部位和层位。

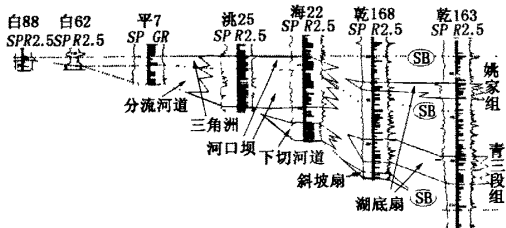


图6 松辽盆地南部坡折带控制下储集体分布特征

Fig.6 Reservoir bodies distribution characteristics under the control of slope break zone in the south of Songliao Basin

4 结论

(1) 松辽盆地西斜坡早白垩世发育沟谷-两级挠曲坡折带,即套保-通榆高位坡折带和红岗-海坨子低位坡折带,坡折带呈北北东向展布,沟谷顺物源分布,垂直于坡折带走向。

(2) 古沟谷-坡折带要素在基准面变化的不同时期,对沉积物体积分配和相分异有着不同的影响。侵蚀沟谷和古河道是物源的主要搬运通道;坡折带以下是沉积物堆积的潜在空间。谷(沟谷)-坡(坡折带)-面(层序界面)的配置决定储层发育的有利部位和层位。

(3) 在基准面的旋回变化中,低位坡折和高位坡折对沉积物相分异不同时期有差异。基准面较低时,低位坡折主要控制斜坡扇和湖底扇及下切谷等低位沉积体的分布和发育;基准面较高时期,高位坡折主要控制三角洲体系的分布。

参考文献:

- [1] GALLOWAY W E. Siliciclastic slope and base-of-slope depositional systems: component facies, stratigraphic architecture and classification[J]. AAPG, 1998, 82(4): 635-665.
- [2] LEMONS D R. Facies architecture and sequence stratigraphy of fine-grained lacustrine deltas along the eastern margin of late Pleistocene lake Bonneville, northern Utah and southern Idaho[J]. AAPG, 1999, 83(4): 635-665.
- [3] 林畅松,潘元林,肖建新,等. 构造坡折带-断陷湖盆层序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): 260-267.
LIN Chang-song, PAN Yuan-lin, XIAO Jian-xin, et al. Structural slope-break zone: key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basin[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 260-267.
- [4] 王英民,刘豪. 准噶尔大型坳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(5): 683-688.
WANG Ying-min, LIU Hao. Types and distribution characteristics of slope breaks of large-type down-warped lake basins in Junggar basin[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(5): 683-688.
- [5] 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[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 199-203.
WANG Ying-min, JIN Wu-di, LIU Shu-hui, et al. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 199-203.
- [6] 刘忠保,龚文平,张春生,等. 坡折带上深切谷的形成及发育沉积模拟试验研究[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(6): 32-34.
LIU Zhong-bao, GONG Wen-ping, ZHANG Chun-sheng, et al. The study about sediment simulation testing of formation and development of incised valley on the slope break[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2006, 28(6): 32-34.
- [7] CROSS T A. 地层因素对陆相沉积储层特征的控制[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 322-350.
CROSS T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 7(4): 322-350.
- [8] 邓宏文,王红亮,宁宁. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305-313.
DENG Hong-wen, WANG Hong-liang, NING Ning. Sediment volume partition principle: theory basis for high-resolution sequence stratigraphy[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 305-313.

(编辑 徐会永)