

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

陆相盆地坡折带的隐蔽油气藏勘探战略

李群 王英民

石油大学盆地与油藏研究中心,教育部石油天然气成藏机理国家重点实验室,北京,102249

内容提要 本文从陆相坡折带的定义和分类入手,阐述了构造坡折带、沉积坡折带和侵蚀坡折带的成因以及对层序,尤其对低水位体系域和隐蔽油气藏的控制和影响。指出陆相坡折带与海相坡折带的区别主要表现在:①坡度不同;陆相盆地受构造作用(包括断裂作用)和短源快速沉积的影响,坡度较陡,碎屑物差异沉积明显。②坡折带特点不同;海相坡折带一般单一稳定,而陆相坡折带具有多级坡折的特点。在此基础上,对渤海湾盆地东营凹陷进行了研究。应用钻、测井及地震等资料,建立了东营凹陷沙三段中部地层的层序地层格架,共分为4个层序,并且每个层序可分为低水位体系域、水进体系域和高水位体系域。建立了储油单元与层序单元(尤其低水位体系域)对应关系。阐述了陆相盆地斜坡带沉积体系域中储集砂体类型和油气成藏机制,从而指导隐蔽油气藏勘探。

关键词 层序地层学 坡折带 低水位体系域 隐蔽油气藏

自20世纪80年代 Vail 等人(Vail et al., 1977, 1981, 1984; Van Wagoner, 1985)提出海相层序地层学模式以来,人们一直探索陆相层序地层学及隐蔽油气藏的成因机制。套用海相模式,提出过断陷模式(纪友亮等,1996)和坳陷模式(魏魁生等,1996),只有近几年才对湖盆坡折带进行了较系统的研究,但主要集中在断陷湖盆中的断裂坡折带上,而对大型坳陷湖盆坡折带的认识则分歧较大。经典的海相层序地层学理论是在被动大陆斜坡边缘背景建立的,所以,对陆相盆地坡折带的研究,抓住了层序地层学的精髓,体现出隐蔽油气藏勘探战略,具有重要的理论意义,对油气勘探实践具有指导作用。

1 理论基础

坡折带是指地形坡度发生突变的地带,它可由构造因素或由沉积因素形成。该部位对沉积基准面变化非常敏感,并直接影响层序和沉积体系的发育。与海相相似,陆相坡折带对低水位体系域起重要的控制作用。当基准面处于坡折带之下时,往往形成盆底扇、斜坡扇和前积楔状体,并伴有下切河谷产生。

林畅松等(2000)对构造坡折带(断裂坡折带)作了较系统的分析和总结。王英民等(2002)通过对准噶尔盆地侏罗纪湖盆坡折带的深入研究,按成因机制将坡折带划分为构造坡折带、沉积坡折带和侵

蚀坡折带三种类型。其中,构造坡折带是指由于同沉积构造长期活动引起地形坡度发生明显突变的地带。能够形成坡折带的同沉积构造活动主要有断裂和挠曲。因此,与之对应可将构造坡折带划分为断裂坡折带和挠曲坡折带。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。在三角洲平原与三角洲前缘,尤其在三角洲前缘与前三角洲的结合部易形成沉积坡折带。侵蚀坡折带是由于风化侵蚀等外动力地质作用造成地形坡度突变而形成的。在持续时间较长但还没有达到准平原化的不整合面下有可能发育侵蚀坡折带。

陆相坡折带与海相坡折带有很大的不同,主要表现为:①坡度不同,陆相盆地受构造作用(包括断裂作用)和短源快速沉积的影响,有些部位坡度较陡,碎屑物差异沉积明显,没有海相沉积物具有的稳定和规则的分布。这增加了研究和勘探的难度。②坡折带特点不同,海相坡折带一般单一稳定,而陆相坡折带具有多级坡折的特点。例如松辽盆地西部地区二级坡折控制着沉积物的分布;渤海湾盆地的断裂控制着多级坡折。

然而,不同类型的坡折带,控制着相应的低水位体系域,从而决定着不同类型的隐蔽油气藏。据统计(Baum, 1995),全世界86%的油气储存于低水位体系域中,有大约12%的油气储于水进体系域中,而只

注:本文为国家重点基础研究发展规划项目(编号 G1999043305)资助成果。

收稿日期:2002-10-22;改回日期:2003-02-24;责任编辑:周健。

作者简介:李群,男,1962年生。2001年于中国地质大学(北京)获博士学位。现为石油大学(北京)博士后研究人员,从事层序地层学及隐蔽油气藏研究。通讯地址:102249,石油大学(北京)盆地中心;Email:lq6285656@sina.com。

有2%的油气储于高水位体系域中。这表明低水位体系域在油气勘探中具有特殊重要的意义。而笔者对松辽盆地中央坳陷区的主要试油层段(计112个数据点)进行了层序地层学分析,结果表明有48.2%的油气储于低水位体系域中,有26.8%的油气储于水进体系域中,而有25.0%的油气储于高水位体系域中(李群,2002)。低水位体系域还是占有重要位置。但与海相地层相比,低水位体系域含油比例明显偏低,这预示着陆相盆地低水位域的隐蔽油气藏勘探具有十分广阔的前景。而坡折带是处于重要战略地位的油气勘探领域。

2 应用实例分析

油气勘探实践表明,由构造圈闭到隐蔽圈闭是由易到难的过程(王永春,2001)。随着大型整装构造油气藏发现的机率变小,隐蔽油气藏(地层、岩性油气藏)勘探得到了极大重视和快速发展。然而,在陆相湖盆寻找隐蔽油气藏,仍是处于探索阶段的难题。尤其渤海湾盆地济阳坳陷东营凹陷这样高勘探精度的盆地和探区,更需要新理论和新技术指导和实践,才能有所突破。

东营凹陷是渤海湾盆地济阳坳陷的重点探区之一,进行了大量的钻探和地震工作,勘探精度很高,找到了一批岩性油气藏。但是,发育于沙河街组三段中部、具有明显的S型前积结构的东营三角洲的层序地层格架的建立及其中下部砂体的成因、分布,一直争论不休。为此,从坡折带、层序地层学和隐蔽油气藏等方面进行了深入分析。

2.1 东营凹陷沙三段中部层序格架建立

通过对钻井、测井及地震等资料的分析,建立了层序地层格架。将沙三段中部东营大型三角洲前积体划分为4个层序,即层序1(sq1)、层序2(sq2)、层序3(sq3)、层序4(sq4)(图1)。并在每个层序中结合坡折带的特点,划分出低水位体系域、水进体系域和高水位体系域。从而建立层序单元与储油单元的联系,即能约束和预测储油单元,其层序界面和内部特征如下:

层序1:其下部层序界面为沙三段中部的底界(对应 T_5 地震反射界面),与下伏地层呈不整合接触。该层序受古地貌影响(坡度很陡),在坡折带之下(坡角处)发育低水位体系域,砂体厚度较大,但厚层分布范围较小。在低水位体系域沉积之后,基准面上升很快,也很高,使得水进体系域沉积体快速向岸(物缘)退缩,恰恰在近源处沉积了相对较厚的水进

体系域砂岩,测井曲线也表现为退积砂体特征。基准面达到最大水泛面之后,下降缓慢,至使高水位体系域前积沉积体刚刚到达低水位体系域部位即终止,形成低水位体系域与高水位体系域(及水进体系域)并列分布的特征。与上覆层序呈不整合接触。

层序2:低水位体系域位于斜坡部位,其上水进体系域砂体很发育,退积特征明显,达到最大水泛面后,沉积基准面迅速下降,高水位体系域很不发育,进入下个层序。

层序3:低水位体系域的盆底扇很发育,呈丘形,基准面上升很快、水进体系域沉积体不发育,但高水位体系域非常发育,大套的沉积体特征明显,并呈复合密集段直接覆盖于低水位体系域沉积体之上,具备良好的成藏条件。

层序4:低水位体系域特别发育,大套厚层砂岩呈上倾尖灭覆于层序界面的斜坡带上,波阻抗反演也显示大套砂岩,测井曲线也呈高幅值砂岩特征。水进体系域相对较薄,而高水位体系域为厚层的大型前积体。其层序顶界为明显的削截不整合面,相当于沙三段中部的顶界(对应 T_4 地震反射界面)。

2.2 砂体成因分析

东营三角洲是东营凹陷东部物缘向前迭置的高角度前积沉积体。沿前积方向约30km长度上,沙三段中部包含4个层序。对每个层序进行了低水位体系域、水进体系域和高水位体系域划分。

本文重点对层序4的低水位体系域砂体进行了深入分析。应用地震剖面确定低水位体系域沉积体平面分布之后,通过合成地震记录及测井曲线,建立钻井/地震关系,并对钻遇该沉积体的关键井进行沉积相分析。根据牛13井的钻井和测井资料分析(图

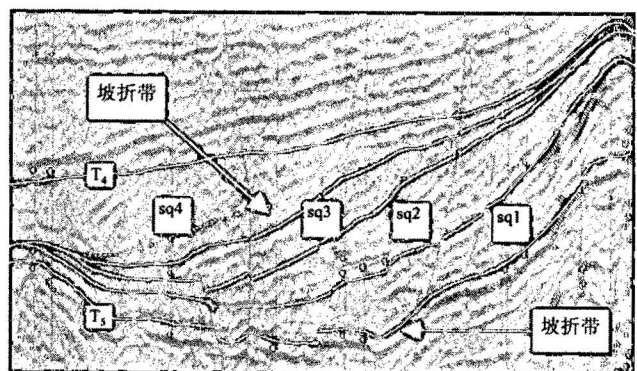


图1 沙三段中部层序格架(crossline—cxpm1)
Fig.1 Sequence stratigraphic framework of the intermediate section of Es^3 (crossline—cxpm1)

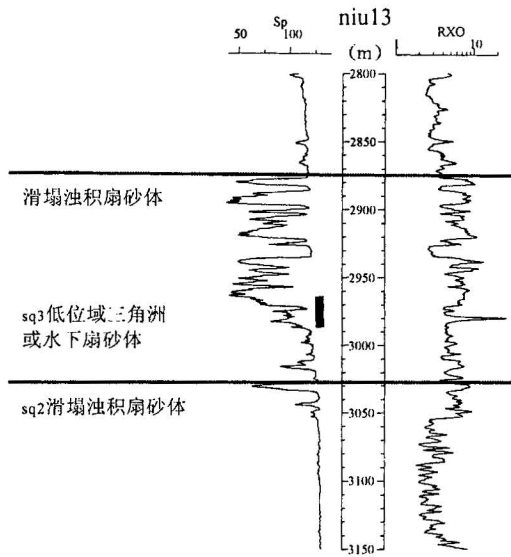


图 2 牛13井沙三段中部(sq3)砂岩分析图
Fig. 2 Sandstone analyse map of the intermediate section of Es³(sq3) in well niu 13

2),在沙三段中部的底部钻遇到数十米厚的复合砂体,从电测曲线看,既有典型的崩塌浊积扇砂体,与泥岩频繁互层的指状曲线为特征,也有明显具回旋特征的较厚的复合砂体,推测为水下扇或低水位三角洲沉积。

在研究中,采用波阻抗反演技术来识别低水位域砂体的展布特征,取得良好效果。图3是相对应的波阻抗反演结果,从图中可看出,受坡折带控制的低水位域砂体处于坡折之下,其上被水进体系域泥岩所覆盖,既是良好的生油层,又是很好的盖层。所以,低水位体系域砂体具备形成隐蔽油气藏的条件。其中与牛13井低水位域砂体对应波阻抗异常清楚地揭示了低水位扇的空间形态。而高水位体系域砂体非

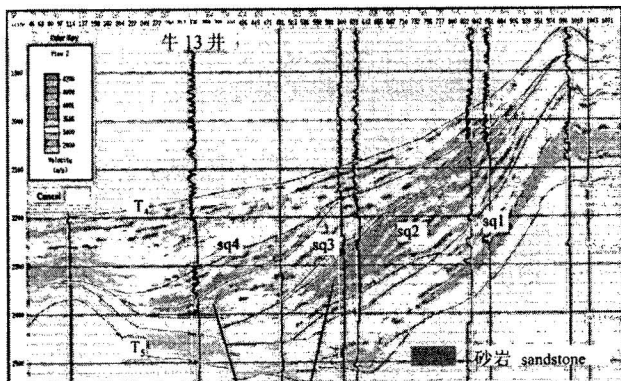


图 3 波阻抗反演剖面图(crossline—cxpm1)
Fig. 3 Section of wave impedance reversion profile (crossline—cxpm1)

常发育,但盖层条件不好,难以形成含油气圈闭。

2.3 含油气圈闭预测

由于地层圈闭在形态圈闭识别阶段是“显型”的而不是隐蔽的,更重要的是地层圈闭往往比岩性圈闭规模更大,油气运聚条件更好。更容易形成大型甚至于特大型油气田。因此一般而言,一个盆地的油气勘探首先是寻找构造圈闭,然后是地层圈闭,最后才是岩性圈闭。

(1)形态圈闭特征:以牛13井低水位域砂体为出发点,在第4层序中追索出约10km²的有利含油气圈闭,其地震反射特征为:在 inline 线上表现为向物缘方向的上倾尖灭透镜体,在 crossline 线上表现为南高北低的透镜体,厚度较均匀,圈闭顶界埋深约2900m。

(2)圈闭条件分析:根据该区勘探经验,储集物性与砂体厚度成正比,牛13井低水位域砂体厚度较大,平面分布较稳定,储集物性较好。该砂体四周被泥岩包围,封堵条件有利。在该圈闭范围内已钻牛11和牛13井,均在砂体下倾方向。推测在圈闭上倾方向含油气性变好。

3 模式建立

在上述研究基础上,归纳各体系域砂体成因模式(图4)。沙三段中部的下部砂体有三种主要成因类型,其中高水位域的前三角洲崩塌浊积扇砂和深水浊积扇砂,以总体上分布广泛、单层厚度薄、单砂体面积小为特征,其区别在于前者主要发育在斜坡上,原始产状倾斜;后者主要发育在前方的湖底,原始产

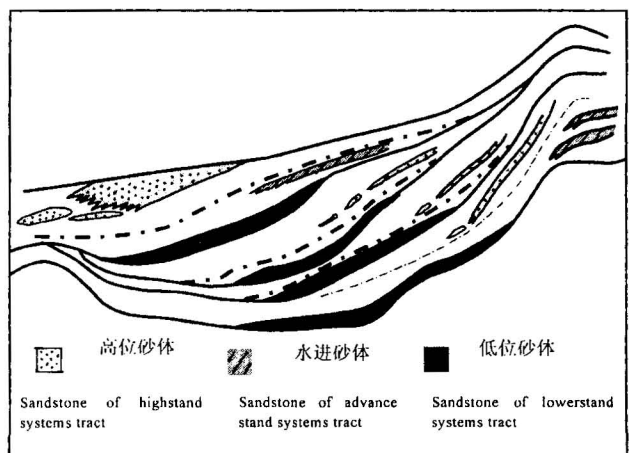


图 4 层序地层格架和砂体类型分布模式图
Fig. 4 Pattern of sequence stratigraphic framework and sandstone type distributing

状近于水平或呈披盖状。第三种类型是低水位域的水下扇或三角洲砂体,其特征是总体上分布局限,只在沉积坡折带之下的低水位域中发育,单层厚度较大,往往呈反旋回,单砂体面积相对较大。

4 结束语

陆相盆地坡折带是沉积基准面变化敏感地带,它直接控制和影响层序和沉积体系的发育。对其成因机制和模式研究,对于丰富石油地质理论起重要作用。在油气勘探开发方面,陆相盆地斜坡带是低水位体系域发育地带,也是隐蔽油气藏发育部位,应加强对坡折带含油气圈闭的研究和勘探。另外,只要资料许可,要尽可能建立更高级别的层序和体系域单元,并使其能更具体和有效地限定储油砂体的部位及规模,有利于勘探部署。

参 考 文 献

- 纪友亮,张世奇,等. 1996. 陆相断陷盆地层序地层学. 北京:石油工业出版社.
- 李群. 2002. 松辽盆地长岭凹陷隐蔽油气藏勘探研究. 地球科学—中国地质大学学报, 27(6):770~774.
- 林畅松,潘元林,肖建新,等. 2000. “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, 25(3):260~266.
- 王永春. 2001. 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.
- 王英民,刘豪,李立诚,等. 2002. 准噶尔大型坳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, 27(6):283~288.
- 魏魁生. 1996. 非海相层序地层学——以松辽盆地为例. 北京:地质出版社.

版社.

References

- Lin C S, Pan Y L, Xiao J X, et al. 2000. Structural slope break zone: key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(3):260~266 (in Chinese with English abstract).
- Li Qun. 2002. Study of subtle exploration in Changling Sag of Songliao Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(6):770~774 (in Chinese with English abstract).
- Vail P R, Mitchum R M, Thompson S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 3: Relative changes of sea level from coastal onlap. In: Payton, ed. *Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, 83~97.
- Vail P R, Todd G R. 1981. North Sea Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea-level changes from seismic stratigraphy. *Petroleum Geology of the Continental Shelf, Northwest Europe*, Proceedings, 216~235.
- Vail P R, Hardenbol J, Todd G R. 1984. Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea-level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy. In: Schlee J S, ed. *Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 36, 129~144.
- Van Wagoner J C. 1985. Reservoir facies distribution as controlled by sea-level change. Abstract and Poster Session, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Mid-Year Meeting, Golden, Colorado, 91~92.
- Wang Yingmin, Liu Hao, Li Licheng, et al. 2002. Types and distribution characteristics of slope breaks of large-type down-warped lake basins. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(6):283~288 (in Chinese with English abstract).

Exploration Strategy for Subtle Reservoirs in Slope Breaks of Terrestrial Basins

LI Qun, WANG Yingmin

Basin & Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing, 102249

Abstract

On the basis of the definition and classification of terrestrial slope breaks, this paper discussed the genesis and sequence of slope breaks resulting from structure, sedimentation and erosion, especially subtle reservoirs controlled by lowstand systems tracts. The differences between terrestrial and marine slope breaks are: ① the slope of a terrestrial slope break is steeper than a marine one, which is caused by structural movement and rapid terrestrial sedimentation from a close-by provenance; and ② marine slope breaks are commonly mono-slope breaks, whereas terrestrial slope breaks are composed of several slope breaks. These were applied in the Dongying Sag of the Bohai Bay Basin. We established a sequence framework composed of four sequences. These four sequences are all divided into lowstand systems tracts, advance systems tracts and highstand systems tracts. We also established the relationship between reservoirs and sequence units, especially lowstand systems tracts, and studied the types of sand bodies in systems tracts of terrestrial slope breaks and the mechanism for oil-gas reservoir formation.

Key words: sequence stratigraphy; slope break; lowstand systems tracts; subtle traps