

大民屯凹陷古近系层序地层格架与层序成因分析

鞠俊成, 刘 宝

(中国石油辽河油田公司, 辽宁 盘锦 124010)

摘要:大民屯凹陷是在前古近系基底上发育的一个新生代富油气凹陷,截止 2007 年底已探明石油地质储量 3.2 亿 t,其古近系是重要勘探目的层和产层。根据凹陷的构造演化史与地层、沉积发育特征,利用钻井取心、岩屑录井、测井和高分辨率的三维地震资料,将凹陷古近系划分为 2 个二级层序、7 个三级层序。通过精确的速度分析及井震结合,建立了全凹陷古近系等时层序地层格架,并对层序发育的主控因素进行了探讨,认为构造沉降、沉积物供应、湖平面变化与气候等因素共同控制了大民屯凹陷层序的形成,其中构造沉降对层序形成起主要控制作用。高精度层序地层划分与等时格架建立对大民屯凹陷岩性油气藏研究与勘探具有十分重要的指导意义。

关键词:大民屯凹陷;构造演化史;等时层序地层格架;构造沉降

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2008)04-0462-06

0 引言

大民屯凹陷位于渤海湾盆地辽河坳陷的东北角。凹陷在平面上呈不规则的椭圆形,南宽北窄,现今古近系分布面积约为 800 km²。凹陷油气资源丰富,是中国东部著名的“小而肥”的新生代含油气凹陷之一。截止 2007 年末,已发现大民屯、法哈牛、静安铺、边台等 4 个油气田,探明石油地质储量 3.2×10^8 t,其中潜山和古近系是主要的勘探层系和产层^[1]。

随着大民屯凹陷勘探程度的提高,岩性油气藏逐渐成为最现实、最具潜力、最有普遍性的勘探新领域,因此建立一套完善的理论与技术体系,对岩性油气藏勘探具有十分迫切的现实意义和广阔的应用前景。研究和实践证明,层序地层学是寻找岩性油气藏最有效的方法之一,将层序地层学理论与现代地震解释技术,特别是与各种地震储层预测技术紧密结合,是国内外积极探索的重要研究方向^[2]。因此在大民屯凹陷开展高精度层序地层研究,具有重要的理论和现实意义。

1 大民屯凹陷层序地层格架

层序地层学是根据地震、钻井和露头资料进行

地层分布型式、沉积环境和岩相综合解释的一门科学。它研究以侵蚀面或者无沉积作用面以及与之可对比的整合面为界的、重复的、有成因联系的年代地层框架内的岩石关系^[3]。综合利用大民屯凹陷的录井、取心、测井和地震资料进行层序地层分析,在单井层序划分的基础上,充分应用地震资料,通过速度分析及层位标定,建立井震统一的地层格架,为岩性油气藏研究与勘探奠定基础。具体步骤为:①典型单井层序的初步划分,识别层序、体系域和准层序界面,确定纵向层序划分方案;②利用典型井划分结果建立基干层序地层剖面;③建立基干联井(典型井)地震剖面;④通过时深转换使井—震划分结果交互对比,使钻井和地震层序划分相互统一,从而建立井震统一的高精度层序地层格架。

1.1 典型单井层序划分

层序可以分为不同的级次,根据层序边界(侵蚀不整合面、沉积间断面及其对应的整合面)的类型和分布,以及层序内部特征(地层分布模式、沉积相演变等)将层序划分为巨层序、超层序、层序、体系域、准层序组和准层序^[4]。单井层序划分主要依据的是岩性录井、测井、取心等资料。在单井上,将大民屯古近系层序划分到五级。

确定湖盆层序地层样式的关键是如何准确地将相互嵌套的不同级次层序界面划分开来。在层序边界识别过程中,应遵循下述几个原则:

- (1)间断性原则:所划分的各级层序内部不应存在比层序边界更为重要的沉积间断面。
- (2)等时性原则:所划分的各级层序均为同期沉积物的组合体。
- (3)统一性原则:所划分的层序应在盆地(凹陷)

范围内统一。

(4)一致性原则:据不同资料划分的层序边界是一致的,能相互验证。

层序界面是盆地构造演化特征的具体体现,常与盆地内部的构造活动、沉积物的供给、湖平面变化、气候特征及由于古地理环境等因素变化形成的转换面联系在一起。层序界面的识别主要依据表 1 中所列的几个方面的特征标志^[5-8]。

表 1 层序界面识别的主要标志

资料类别	层序界面识别的主要标志
测井资料	测井曲线的突变界面;测井值的突然增大或降低
地震资料	地震反射终止关系;地震反射波组的产状;不同地震反射的旋回特点
构造资料	构造运动界面;盆地充填演化转换面(大面积侵蚀不整合界面、超覆界面)
古生物资料	古生物组合、种属和数量的突变;生物碎屑层、植物根迹化石的存在
露头、岩心资料	颜色和岩性突变界面;底砾岩;古土壤层或根土层;沉积相突变;有机质类型和含量突变
地球化学资料	风化作用引起原始沉积层的矿物成分、化学成分的变化

大民屯凹陷在新生代古近纪经历了初始裂陷、深陷、萎缩的构造发展阶段,形成了古近系沙四段—沙三段、沙一段—东营组两大构造沉积旋回,发育了沙三段—沙一段之间、东营组—馆陶组之间 2 个凹陷范围内展布的区域不整合。根据凹陷的构造发育及其相应形成的地层特征,结合岩性组合、沉积旋

回、电性特征、古生物和地化资料等层序界面识别标志,在单井上将大民屯凹陷古近系划分为 2 个二级层序,其中第一个二级层序可以进一步划分成 5 个三级层序,地质层位上与沙三段、沙四段相对应;第二个二级层序可以进一步划分成 2 个三级层序,地质层位上与沙一段和东营组相对应(表 2,图 1)。

表 2 大民屯凹陷古近系层序划分方案

地层				时间	层序				主要沉积体系	古气候	区域反 射界面	备注	
系	统	组	段	(Ma)	二级	三级	体系域	界面					
古 近 系	渐 新 统	东营组		11.4	SQⅡ	SQⅡ ₂	AST	SB7	泛滥平原	温带潮 湿气候	T ₃		
			一段	2		SQⅡ ₁	TST LST	SB6	泛滥平原		T ₄		
		沙河街组		三段		5	SQⅠ	SQⅠ ₅	HST		SB5	泛滥平原	亚热带 潮湿 气候
			SQⅠ ₄					TST	SB4		扇三角洲		
	SQⅠ ₃		LST		SB3			湖泊					
	SQⅠ ₂				SB2								
	始 新 统	四段	2.4	SQⅠ ₁		HST		泛滥平原	干旱气候	T _g			
						TST		扇三角洲					
						LST	SB1	湖泊					
房身泡组								河流					

1.2 剖面层序建立

利用已完成的单井划分结果,建立连井剖面层序。剖面的走向既要考虑已优选的典型井的分布,兼顾对全区层序格架的控制作用,为后期的层序界面追踪提供控制点;另外也要考虑能够控制凹陷的主要构造带。连井剖面层序格架的建立,为层序界

面的追踪和储层预测提供了框架和基本约束。基于上述原则,利用典型单井层序,建立剖面层序(图 2)。

1.3 井震结合建立层序格架

单井层序、连井剖面层序和地震剖面层序是层序格架建立过程中不可分割的 3 个方面,需互相借鉴、互相牵制,以此来达到统一的目的。

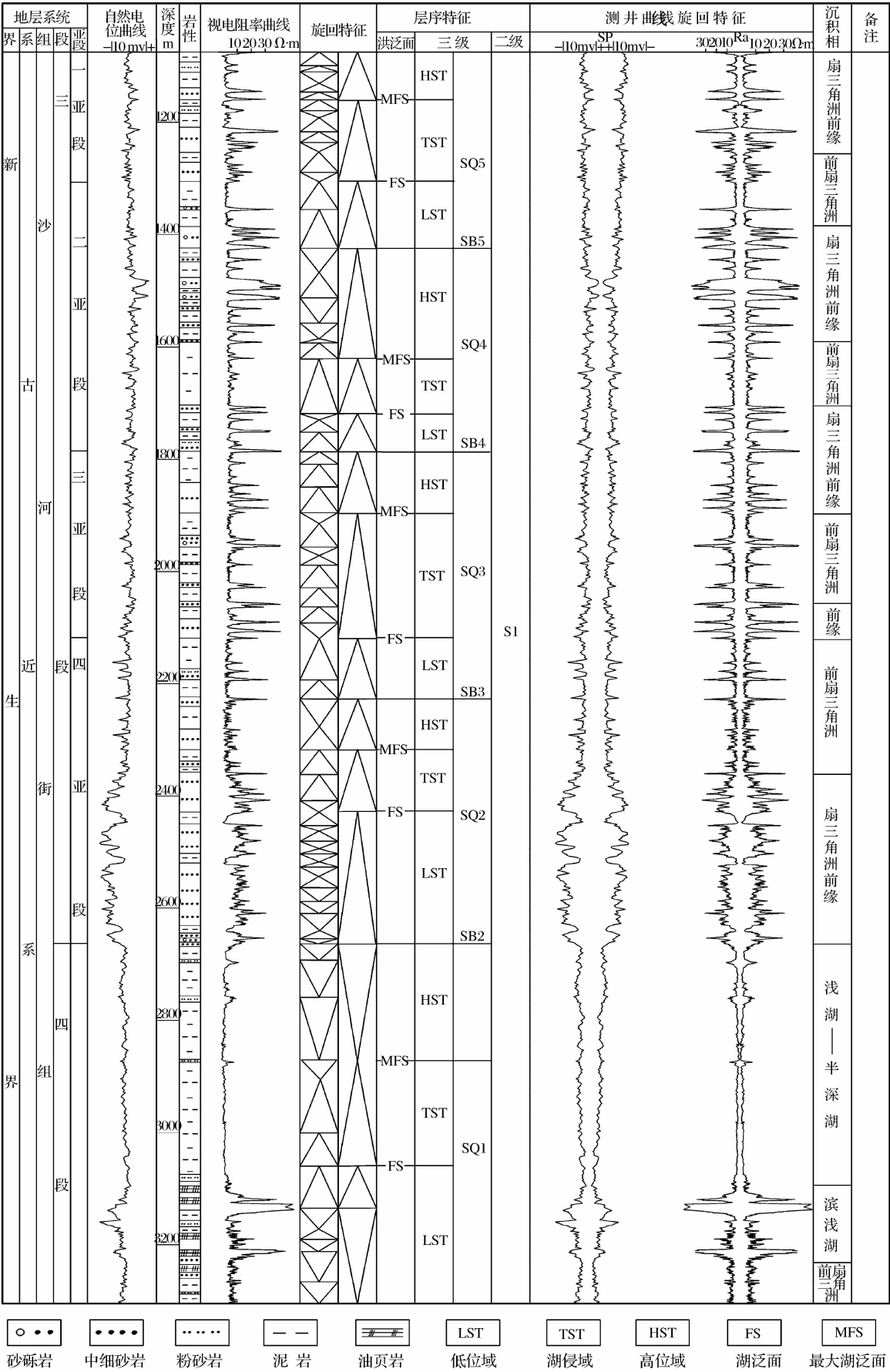


图 1 沈 223 井单井层序划分结果

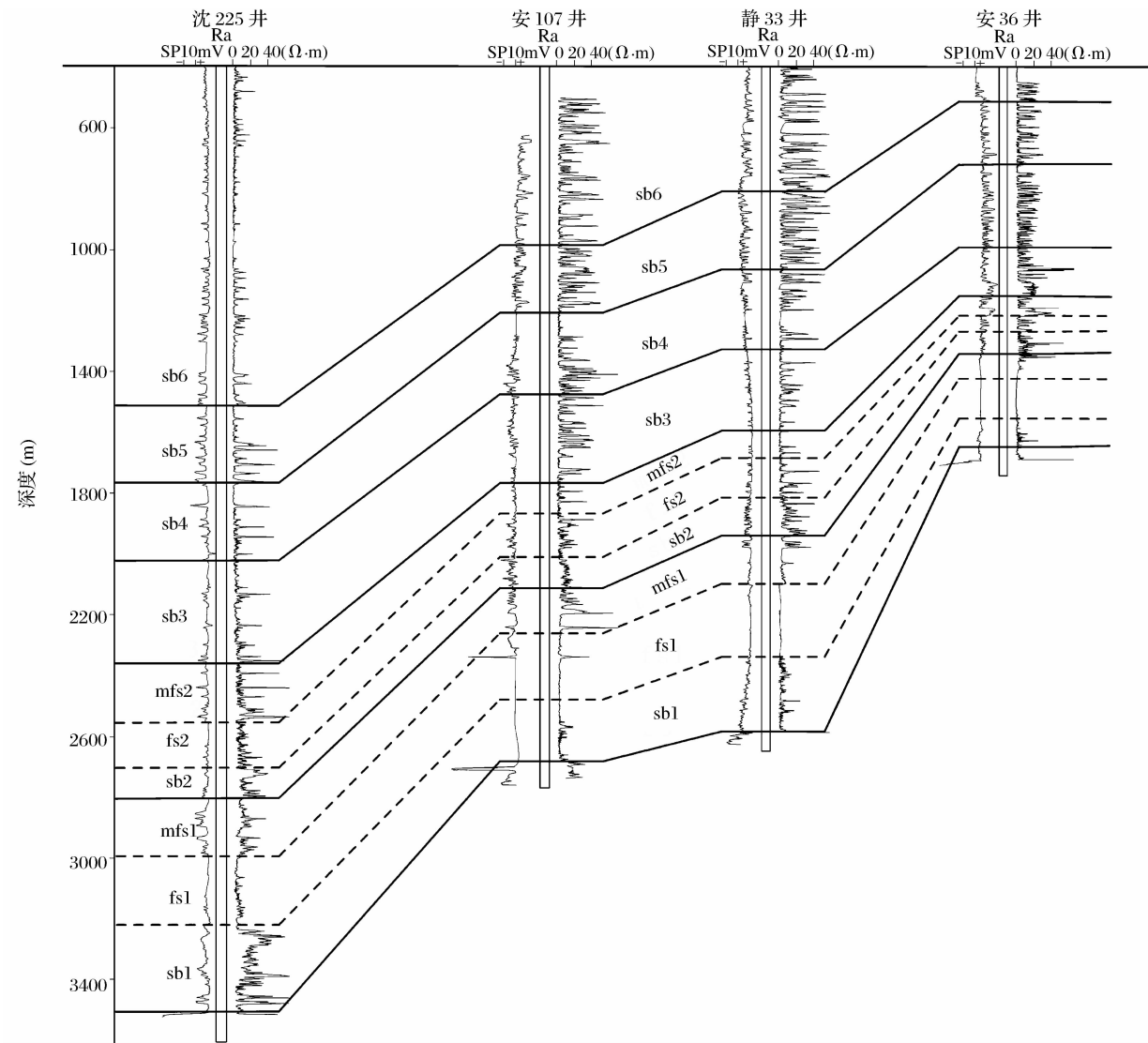


图 2 沈 225 井—安 36 井联井层序划分剖面

地质体界面(岩性或时间界面)的追踪与对比建立在准确的层位标定基础上,由于地震资料是时间深度,所以在确定深度时要建立时间与深度的转换关系,进行准确的层位标定。VSP 地震资料是层位标定的最好手段,利用沈 281、沈 297 等井的 VSP 测井资料分构造带和分区建立了时深转换关系(图 3)。对无 VSP 测井资料的地区,利用声波时差测井资料制作合成地震记录来确定时间与深度的关系以作补充。

利用所建立的时深转换关系将钻井层序剖面中的层序界面转换到地震层序剖面上,并进行对比和调整,从而建立井震统一的层序地层格架。

1.4 层序格架划分的意义及综合应用

1.4.1 层序格架划分的石油地质意义

兴起于 20 世纪 70 年代的层序(地震)地层学,由于其理论意义上的科学性以及经济意义上的预

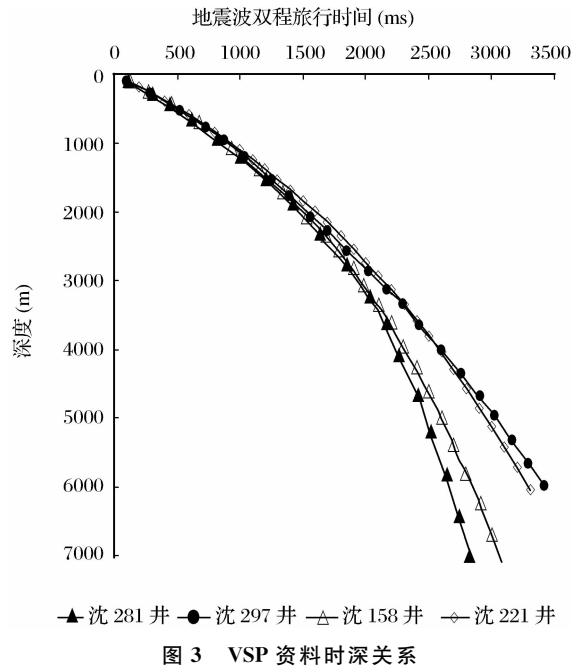


图 3 VSP 资料时深关系

测性,在过去的 30 多年中受到了极大的关注和极高的评价,已成为一种研究地层分布、降低勘探风险的重要技术和方法,尤其是近年来在岩性油气藏勘探中更是得到了广泛的应用。

层序地层学是根据地震、钻井和露头资料进行地层分布类型模式、沉积环境和岩相综合解释的一门科学。通过不整合(或与之可对比的整合)以及各次级界面的辨认,从而建立周期性(旋回性)的、在成

因上有联系的年代地层格架。与传统的地层划分方案相比,层序地层划分和等时层序格架的建立 在勘探上的价值具体体现在:通过层序地层研究,提高预测源岩、储层、盖层、油气藏的成功率,降低勘探风险。

一个完整的层序是由低位体系域、水进体系域、高位体系域等 3 个体系域组成,研究表明,各个体系域均可成藏,但 烃源岩、储层、盖层、圈闭类型和油气运移方式等各不相同(表 3)^[9-11]。

表 3 三级层序内各体系域石油地质意义

体系域	储集层条件	烃源岩条件	盖层条件	运移条件	圈闭条件
高位体系域	以不连接的冲积相和三角洲相砂岩为主,临滨相次之	一般为深部烃源岩,自身泥岩、页岩发育较差,以生气为主	封盖条件差,与水进体系域有关的泥岩、页岩是最好盖层,但遭水道切割	通常要靠垂向断层运移	主要为构造圈闭,具岩性圈闭
水进体系域	岸线—滨面砂岩储层,孔隙度、渗透率极好	顶部和侧向的烃源岩发育好,顶部凝缩层段为极好烃源岩	顶部盖层好,侧向和底部则不定	向下、向旁侧运移	岩性圈闭及复合圈闭
低位体系域	盆底扇、斜坡扇及下切谷充填河道砂岩发育,物性好,连续性较差	上方水进体系域的生油岩、侧向及深部油源	上方水进体系域泥岩盖层;侧向封闭性可能很差	断层疏导垂向运移,砂岩疏导侧向运移	地层圈闭及复合圈闭

1.4.2 层序格架的综合应用

充分运用三维地震资料解释的配套相关技术,如剖面解释技术、同相轴相似性分析技术、任意线解释技术、时间切片、相干分析技术、三维可视化技术、地震属性分析技术等对划分的层序界面进行联合构造解释,编制层序界面的构造图,在层序格架内研究凹陷断裂系统和构造特征及其对地层分布的控制作用。结合钻井、录井、取心、测井资料以及层序约束储层反演岩性预测结果,分析层序框架内沉积储层特征、油气分布及控制因素,并进而对岩性圈闭的形成和分布进行准确的预测,实现岩性油气藏的勘探^[12-13]。

2 层序形成机制探讨

在层序地层学的经典著作中,认为海相层序地层学有 4 个基本的变量,分别是构造沉降、全球海平面升降、沉积物供应和气候,控制了地层单元的几何形态、沉积作用和岩性,其中由构造沉降和全球海平面升降导致的海平面变化,是层序地层学的基础和第一主控因素。但是不同的盆地类型、不同的构造背景、不同的古地理格局以及不同的沉积环境,其各个因素对层序的控制作用不同,控制强度也差别较大。对于陆相断陷盆地来说,尤其是对大民屯这样

面积较小且构造比较复杂的一个凹陷来说,用湖平面变化来解释层序的成因是非常困难且不现实的。陆相盆地中,层序地层 4 种控制因素之间的相互关系是复杂的,层序的形成取决于多种控制因素之间的平衡,其中构造沉降对层序形成的控制作用占主导地位^[14-18]。

研究表明,盆地对构造运动和气候等的沉积响应极为复杂,周期性的沉积序列展示了沉积物粒度、沉积速度对构造驱动机制的复合反应。此外,湖平面变化、气候和构造之间也存在着复杂的相互作用,如气候的变化可驱动海平面的变化,反过来海平面的变化也可导致气候的变化。构造事件也影响气候变化,而全球构造事件对海(湖)平面变化的影响就更为显著。盆地演化如裂陷旋回和裂陷幕在一定程度上是受全球构造事件的控制。作为构造和气候变化函数的内陆盆地基准面变化,特别是二级旋回与全球海平面变化有一定的相关性。

对于大民屯凹陷来说,其层序的形成主要受构造作用的控制。与古近系沙三段以及东营组沉积末期的构造运动相对应,形成了 4 个凹陷范围的不整合面,相应地也形成了古近系的 4 个二级层序界面。受旋回内次级构造运动的影响,形成了各次一级层序界面。另一方面,层序的形成还受其它因素的影

响,其也是构造、气候、湖平面变化、物源供应等诸因素相互影响、共同作用的结果。

3 结论

(1) 高精度层序地层研究对大民屯凹陷岩性油气藏勘探具有重要的理论和现实意义。根据凹陷的构造演化和沉积特征,利用钻井、录井、测井和高分辨率三维地震资料,将大民屯凹陷古近系划分为 2 个二级层序,7 个三级层序。

(2) 构造沉降、沉积物供应、湖平面升降与气候等因素共同控制大民屯凹陷层序的形成,其中构造沉降对层序形成起主要控制作用。

(3) 在大民屯凹陷的岩性油气藏勘探中,为了早日实现此类油气藏勘探的整体突破,应加强层序地层研究与地震储层预测。

参考文献:

- [1] 陈振岩,陈永成,郭彦民,等. 大民屯凹陷精细勘探实践与认识[M]. 北京:石油工业出版社,2007:1-23.
- [2] 贾承造,赵文智,邹才能,等. 岩性油气藏勘探研究的两项核心技术[J]. 石油勘探与开发,2004,31(3):3-9.
- [3] Wilgus C K. 层序地层学原理[M]. 徐怀大等译. 北京:石油工业出版社,1993.
- [4] 蔡希源,李思田,郑和荣,等. 陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践[M]. 北京:地质出版社,2003:31-66.
- [5] 操应长,姜在兴,夏斌,等. 利用测井资料识别层序地层界面的

几种方法[J]. 石油大学学报:自然科学版,2003,27(2):23-26.

- [6] 张世奇,肖焕钦,陆相断陷湖盆中层序边界的形成机理及其识别特征研究[J]. 江汉石油学院学报,2003,25(1):4-7.
- [7] 田景春,陈高武,张翔,等. 沉积地球化学在层序地层分析中的应用[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(1):30-35.
- [8] 于均民,李红哲,刘震华. 应用测井资料识别层序地层界面的方法[J]. 天然气地球科学,2006,17(5):736-742.
- [9] 尹太举,张昌民. 层序地层格架内的油气勘探[J]. 天然气地球科学,2005,16(1):25-30.
- [10] 瞿辉,赵文智. 层序格架在油气勘探中的作用[J]. 石油勘探与开发,2000,27(5):40-43.
- [11] 覃建雄,吴勇. 层序地层学在油气勘探领域中的应用[J]. 天然气地球科学,1995,6(6):1-12.
- [12] 崔永谦,武耀辉,罗宁,等. 陆相地层岩性油气藏勘探技术[J]. 中国石油勘探,2004,(3):17-25.
- [13] 易士威,王权. 岩性油气藏勘探思路与勘探方法[J]. 中国石油勘探,2005,(2):9-15.
- [14] 池英柳,张万选,张厚福,等. 陆相断陷盆地层序成因初探[J]. 石油学报,1996,17(3):19-26.
- [15] 胡受权,郭文平,杨凤根,等. 试论控制断陷湖盆陆相层序发育的影响因素[J]. 沉积学报,2001,19(2):256-262.
- [16] 孙耀庭,张世奇,刘金华,等. 陆相可容空间变化及层序发育控制因素分析[J]. 油气地质与采收率,2005,12(1):3-5.
- [17] 谢晓军,邓宏文. 陆相断陷盆地构造—层序地层研究需注意的几个问题[J]. 天然气地球科学,2007,18(6):838-842.
- [18] 覃建雄,陈洪德,田景春. 层序成因动力学中的构造因素研究[J]. 古地理学报,2003,5(1):77-86.

Paleogene Stratigraphic Sequence Framework and Sequence Origin in Damintun Sag

JÜ Jun-cheng, LIU Bao

(Institute of Exploration and Development, PetroChina Liaohe Oilfield Company Ltd., Panjin 124010, China)

Abstract: Damintun Sag is a hydrocarbon-rich Cenozoic sag developed on a pre-Paleogene base, 0.32 billion tons petroleum were found till 2007. Paleogene is the main oil-producing and target layers. According to the tectonic evolution and characteristics of strata and deposition in Damintun Sag, by using drilling cores, cutting logs, well logs and high-resolution 3-D seismic data, 2 second-order sequences including 7 third-order sequences were classified in the Paleogene System. By accurate velocity analysis and combination of well and seismic data, a synchronic stratigraphic sequence framework was established, and the main sequence-controlling factors were discussed. Tectonic subsidence, supply of deposits, lake level fluctuation and climate were considered controlling the formation of sequences, and tectonic subsidence was the main factor. The high-precision sequence classification and the foundation of the synchronic stratigraphic sequence framework are of great significance to the exploration and research of lithological reservoirs in Damintun Sag.

Key words: Damintun Sag; Tectonic evolution; Synchronic stratigraphic sequence framework; Tectonic subsidence.