文章编号:1009-3850(2014)03-0031-07

内蒙古开鲁盆地陆东凹陷九佛堂组层序 地层格架与岩性圈闭

刘明洁¹,谢庆宾¹,谭欣雨²,王 鹏³,白鲁山⁴,孙晓明¹

(1. 中国石油大学(北京)地球科学学院,北京 102249; 2. 中国石化 中原油田采油五厂,
河南 濮阳 457001; 3. 中国石油 东方地球物理公司勘探开发研究院长庆分院,陕西 西安 710000; 4. 中国石油 辽河油田勘探开发研究院,辽宁 盘锦 124010)

摘要:本文应用 Vail 层序地层学原理 综合利用地震、钻井、测井资料,对内蒙古开鲁盆地陆东凹陷早白垩统九佛堂 组进行层序地层学研究 进而分析了层序格架内岩性圈闭的发育情况。研究发现,九佛堂组顶、底分别为上超面和 削截面,内部可识别出初始湖泛面和最大湖泛面。在层序格架内九佛堂组发育扇三角洲、近岸浊积扇、远岸浊积扇 和湖泊相。研究结果表明:九佛堂组为一个三级层序,可划分出低位、湖侵和高位体系域。九佛堂组岩性圈闭的发 育类型及分布模式受层序格架及沉积相带控制。在盆地陡坡带主要发育构造-岩性圈闭,在深洼带主要发育砂岩透 镜体圈闭,在盆地的缓坡带主要发育砂岩上倾尖灭圈闭。

关 键 词: 陆东凹陷; 九佛堂组; 层序地层格架; 岩性圈闭中图分类号: P539.2文献标识码: A

随着油气勘探阶段进入中后期,油气勘探的目标从寻找构造圈闭转到寻找隐蔽的非构造圈闭一 岩性地层圈闭^[1-2]。国内众多学者将起源于海相被动大陆边缘的层序地层学理论应用到中国的陆相 湖盆^[3+3],并应用这一新的理论体系和方法开拓了 诸如坡折带、低位体系域下切谷、低位扇、高位前积 砂体及深水重力流等岩性圈闭勘探的前景^[942],扩 大了储集砂体的预测领域。

在石油工业领域,层序地层学的等时地层对比 为隐蔽油气藏的勘探提供了广阔的思路,成为寻找 岩性圈闭最为有效的技术方法^[13-48]。尤其是随着 地震沉积学的提出^[19-24],解决了制约预测岩性圈闭 地震分辨率局限的问题,提高了寻找岩性圈闭的精 度及合理性。在等时层序格架内采用地震沉积学 精细刻画砂体形态及展布范围,进而预测岩性圈闭 已成为现今储层预测的热点。

现阶段陆东凹陷的研究重点为寻找岩性地层 油气藏,首要任务是建立该区的层序地层格架。前 人应用高分辨率层序地层学原理对陆东凹陷做过 层序地层学的研究^[25] 但仅仅分析了层序内部的生 储盖组合 缺少对层序格架内部岩性圈闭的研究。 Cross 的高分辨率层序地层学理论侧重应用于河流 相砂体 应用于陆相湖盆砂体的实用性有待于进一 步的提高^[26]。因此,目前陆东凹陷层序地层的研究 比较薄弱、对岩性地层圈闭发育的规律认识不清。 为揭示陆东凹陷九佛堂组岩性圈闭的分布规律,本 次研究首次利用 Vail 经典层序地层学原理,结合地 震、岩心、录井、测井资料,对九佛堂组进行层序地 层学的研究。在建立层序地层格架的基础上 结合 沉积砂体特征探讨岩性圈闭的发育类型及分布规 律,对陆东凹陷岩性油气藏的勘探具有重要 意义。

收稿日期: 2013-11-04

作者简介: 刘明洁(1985 -) ,男 ,博士研究生 ,主要从事岩性油气藏的研究

1 地质概况

陆东凹陷位于内蒙古开鲁盆地陆家堡坳陷东 部 面积约1740km² 是辽河油田的外围勘探区。它 是在海西褶皱基底上发育起来的中生代箕状断陷 盆地 盆地呈现东南断西北超的构造格局。凹陷内 部可分为交南断阶带、东部断阶带、西北斜坡带、中 央断裂构造带、交力格洼陷和三十方地洼陷6个次 级构造单元(图1)。

开鲁盆地在石炭系和二叠系基底之上依次发 育下白垩统义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组、上 白垩统、古近系及新近系。其中九佛堂组发育于盆 地的快速深陷期,为陆东凹陷的主要生油层和储 层 岩性主要为灰色泥岩、凝灰质泥岩、深灰色油页 岩夹灰色凝灰质砂岩、砂岩、砂砾岩,表现为滨浅湖-深湖沉积环境。





I.测线 line500; Ⅱ.测线 line690; Ⅲ.测线 line770; Ⅳ.测线 line800 Fig. 1 Tectonic division of the Ludong depression

2 层序地层格架

2.1 地震层序分析

在陆相断陷湖盆中,因构造运动、沉积物供给 速率、湖平面的升降和气候等因素形成了沉积间断 的不整合面以及与之相对应的整合面,这些等时界 面将地层划分成为具有成因联系的层序地层单元, 赋予地层等时的意义,是建立等时地层格架的 基础^[27]。

从地震剖面上可以看到,九佛堂组与下伏的义

县组呈削截的不整合接触关系,与上覆的沙海组呈 上超的不整合接触关系(图2)。九佛堂组顶、底均 为三级层序界面 SB1 和 SB2,为一个完整的三级层 序。在三级层序内部通过识别出类似被动大陆边 缘沉积滨线坡折带的断裂坡折^[28]将初次越过断裂 坡折带的界面确定为九佛堂层序的初始湖泛面,将 最远的滨岸上超点同相轴所对应的界面确定为九 佛堂层序的最大湖泛面。

2.2 钻井层序分析

钻井资料显示,九佛堂组底界面为岩性类别突 变面,表现为九佛堂组深灰色凝灰质泥岩上覆在义 县组灰绿色安山岩之上,与之相应,在界面处存在 电阻率曲线和自然伽马曲线幅度突变(图3a);九佛 堂组顶界面为岩性粒度突变面,表现为九佛堂组的 灰色油页岩下伏于沙海组的灰色粉砂岩相之下(图 3b)。在九佛堂组层序内部,最大湖泛面因凝缩段 的存在而位于一套深灰色凝灰质泥岩的上部,表现 出高自然伽马和异常低电阻率的特征(图3c)。

利用地震合成记录标定层位,并 – 震结合,使 地震层序与钻井层序统一,确定陆东凹陷九佛堂组 的层序地层划分方案,为后续研究搭建九佛堂组等 时的层序地层格架。

3 层序地层模式

前人综合利用钻井资料、测井资料、地震资料, 并结合区域地质背景,认为开鲁盆地陆东凹陷九佛 堂组主要发育4种沉积相类型:湖泊相、扇三角洲 相、近岸浊积扇相和远岸浊积扇相^[29]。由于陆东凹 陷在九佛堂层序时期为典型的箕状断陷盆地,盆地 具有明显的三分特点(图4)。

因所处盆地构造带位置的差异,作为对构造的 响应,沉积相会发育不同的类型。因此,陆东凹陷 总体上表现为构造带控制了沉积相分布。同时,对 于同一构造带,在相同构造背景、气候和物源供给 条件下,对于陆东凹陷这种小型的断陷湖盆,湖平 面的升降控制了不同时期层序地层的分布。

由于边界断层的存在,在盆地陡坡带,构造活动强烈且频繁,物源供给区临近沉积区且高差大,此时物源充足,主要表现为粗碎屑的快速沉积形成扇三角洲,或在断阶带形成近岸浊积扇的重力流沉积。在盆地的缓坡带,地势平缓,构造活动微弱,物源供给较少,只在局部断裂分布的地区因地形高差较大形成小型的扇三角洲。在盆地深洼带,由于处于盆地的沉积中心,构造微弱且远离物源区,处于半



图 2 九佛堂组三级层序边界及体系域边界地震反射特征(line770) SB1. 层序界面 1; SB2. 层序界面 2; LST. 低位体系域; TST. 湖侵体系域; HST. 高位体系域; MFS. 最大湖泛面; FFS. 初始湖泛面 Fig. 2 Seismic reflection profile through the third-order sequence and systems tract boundaries in the Jiufotang Formation

深湖-深湖环境,主要发育远岸浊积扇。

在低位体系域和湖侵体系域发育时期,湖盆边 界断裂活动强烈,湖盆处于快速裂陷时期,湖盆水 体较深,沉积区与物源供给区之间的地形高差大, 物源供给充足。而在高位体系域时期,盆地断裂活 动变弱,处于稳定沉降期,此时湖平面相对湖侵时 期下降。尽管沉积相继承性发育,但无论是陡坡带 的扇三角洲或近岸浊积扇,还是缓坡带的扇三角 洲,其展布面积均较湖侵体系域时期变大,且表现 为向湖盆中央进积的特点。



图 3 九佛堂层序关键界面识别标志

A. SB1 识别标志(保1井); B. SB2 识别标志(交15井); C. 最大湖泛面识别标志(广4井) Fig. 3 Criteria for the recognition of the key boundaries in the Jiufotang Formation



图 4 陆东凹陷九佛堂组层序地层学模式 LST. 低位体系域; TST. 湖侵体系域; HST. 高位体系域

Fig. 4 Sequence stratigraphic model for the Jiufotang Formation in the Ludong depression

4 层序地层格架内岩性圈闭的发育及 分布

利用现有的钻井、地震、测井资料,对陆东凹陷 九佛堂进行了层序地层学研究及沉积相的分析,在 此基础上,用已钻探井来控制,建立九佛堂组砂泥 岩波阻抗模型,再利用层序界面进行约束,进行沉 积砂体的反演,以明确沉积砂体在空间上的发育和 展布情况。

综合地震波阻抗反演结果,在陆东凹陷九佛堂 组识别出砂岩上倾尖灭圈闭、砂岩透镜体圈闭和岩 性-构造圈闭3种岩性圈闭类型。

4.1 砂岩上倾尖灭圈闭

砂岩上倾尖灭圈闭是砂岩体沿上倾方向尖灭 或渗透性变差而形成的圈闭。九佛堂组砂岩上倾 尖灭圈闭的成藏机制主要是位于扇三角洲前缘的 砂体与构造背景相匹配,形成砂体由下倾逆转上倾 尖灭或局部构造翼部上倾尖灭(图5A),这种类型 的圈闭主要出现在低位体系域和高位体系域时期 的箕状盆地缓坡带一侧。由于在低位和高位时期 湖平面相对下降,沉积砂体向湖盆进积,此时砂体 与湖盆中心的烃源岩距离较近,且油气运移方向与 砂岩上倾方向一致,容易形成油气藏。

4.2 砂岩透镜体灭圈闭

砂岩透镜体圈闭是各种透镜状或不规则状的 砂岩储集体被泥岩或渗透性不好的岩层所围限而 形成的圈闭。九佛堂组的砂岩透镜体圈闭主要为 扇三角洲前缘砂体或近岸浊积扇砂体滑塌到深水 环境形成的浊积砂体(图 5B),这种圈闭主要形成 于九佛堂高位体系域,主要发育在箕状盆地的深洼 带。由于砂体直接被深湖中的泥岩所包裹,泥岩所 产生的油气会直接运移到砂岩透镜体中形成油 气藏。

4.3 构造-岩性圈闭

构造-岩性圈闭受构造和岩性的双重控制,储集 岩体上倾方向被非渗透性岩体或断层所封闭,同时 储集体顶、底部也要由非渗透性岩层组成才能具备 封闭条件。九佛堂组的构造-岩性圈闭主要发育在 构造活动强烈的湖侵体系域时期,位于箕状盆地断 裂发育的陡坡带一侧(图5C)。由于陡坡带近沉降 中心,沉积砂体邻近烃源岩发育区,且上倾方向与 油气运移方向一致,易形成油气藏。

4.4 岩性圈闭发育模式

在明确了陆东凹陷九佛堂组岩性圈闭发育类型的基础上,沿物源方向进行一些横贯凹陷的反演 剖面(图6)结合凹陷的构造情况、沉积体系展布及 石油地质背景,可总结出岩性圈闭的发育模式。作 为箕状断陷盆地的陆东凹陷在沉积相分布上具有 分带性:陡坡带主要发育近岸浊积扇和扇三角洲; 缓坡带主要发育扇三角洲和滨浅湖沉积;深洼带主 要发育远岸浊积扇。因此,在横向上,岩性圈闭受 沉积相带的控制,也同样具有分带的特点:陡坡带 的近岸浊积扇和扇三角洲砂体处于断层集中区,易 形成构造-岩性圈闭;缓坡带地形坡度较小,扇三角 洲和滩坝砂体易形成砂岩上倾尖灭圈闭;而深洼带 的远岸浊积扇位于深湖泥岩中形成砂岩透镜体圈闭。



图 5 陆东凹陷九佛堂组岩性圈闭类型 A. 砂岩上倾尖灭圈闭(line800); B. 砂岩透镜体圈闭(line690); C. 构造-岩性圈闭(line500) SB1. 层序界面 1; SB2. 层序界面 2; MFS. 最大湖泛面; FFS. 初始湖泛面 Fig. 5 Lithologic traps in the Jiufotang Formation in the Ludong depression



图 6 过清 1 井-交 5 井地震反演剖面 SB1. 层序界面 1; SB2. 层序界面 2; MFS. 最大湖泛面; FFS. 初始湖泛面 Fig. 6 Seismic reflection profile across the Qing-1 to the Jiao-5 wells

纵向上 岩性圈闭发育表现出受层序格架控制的特 点:低位体系域主要发育砂岩上倾尖灭圈闭; 湖侵 体系域主要发育构造-岩性圈闭; 高位体系域主要发 育砂岩上倾尖灭圈闭和砂岩透镜体圈闭。

5 结论

(1)利用陆相断陷湖盆层序地层学原理和地质 地球物理资料 将陆东凹陷九佛堂组划分为1个三 级层序(九佛堂层序)及低位(LST)、湖侵(TST)和 高位(HST)3个体系域。

(2)明确了层序格架下九佛堂组发育的3种岩 性圈闭类型:砂岩上倾尖灭圈闭、砂岩透镜体圈闭 和构造-岩性圈闭。岩性圈闭的发育在纵向上受层 序格架控制,在平面上受控于一定构造背景下的沉 积相带。在陡坡带扇三角洲、近岸浊积扇沉积砂体 主要发育构造-岩性圈闭;在深洼带远岸浊积扇砂体 主要发育砂岩透镜体圈闭;在缓坡带扇三角洲、滩 坝砂体主要发育砂岩上倾尖灭圈闭。

参考文献:

- [1] 林雄,田景春.非构造油气藏国内外研究现状及发展方向[J].
 岩相古地理,1998,18(4):63-70.
- [2] 王英民,刘豪,王媛. 准噶尔盆地侏罗系非构造圈闭的勘探前 景[J]. 石油勘探与开发 2002 29(1):44-47.
- [3] 苗清,傅恒.塔里木盆地塔中-塔北志留系层序地层[J].沉积 与特提斯地质 2013 33(1):34-41.

- [4] 何云龙 杜学斌,苏明,等. 松辽盆地英台地区青山口组二、三段层序地层与沉积体系[J]. 沉积与特提斯地质 2009 29(2): 48-54.
- [5] 邓宏文.美国层序地层研究中的新学派一高分辨率层序地层 学[J].石油与天然气地质,1995,16(2):89-97.
- [6] 吴因业. 陆相盆地层序地层学分析的方法与实践[J]. 石油勘 探与开发,1997 24(5):7-10.
- [7] 朱筱敏,康安,王贵文.陆相坳陷型和断陷型湖盆层序地层样 式探讨[J].沉积学报 2003 21(2):283-287.
- [8] 纪友亮. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 上海: 同济大学出版 社 2005.123-132.
- [9] 林畅松,潘元林,肖建新,等.构造坡折带一断陷盆地层序分析 和油气预测的重要概念 [J].地球科学一中国地质大学学报, 2000 25(3):260-266.
- [10] 王英民,金武弟,刘书会,等.断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及勘探意义[J].石油与天然气地质,2003,24(3): 199-214.
- [11] 陈亮,王华,韩晋阳,等. 泌阳凹陷下二门地区南部核三上亚 段层序地层特征及地层——岩性圈闭预测 [J]. 石油勘探与 开发 2006 33(1):26-31.
- [12] 常迈,刘震,梁全胜,等.准噶尔盆地阜东斜坡带中上侏罗统 岩性圈闭形成条件及成藏主控因素分析[J].西安石油大学 学报(自然科学版) 2007 22(6):20-23.
- [13] 田继军,姜在兴,陈诗望. 厄瓜多尔 Oriente 盆地南部区块 Napo 组层序地层模式与岩性地层圈闭预测[J]. 现代地质, 2010 24(4):678-684.
- [14] 杨楚鹏 姚永坚,李学杰,等.万安盆地新生代层序地层格架 与岩性地层圈闭[J].地球科学一中国地质大学学报,2011, 36(5):845-852.
- [15] 苏明军,周立宏,王西文,等.斜坡区岩性地层圈闭识别技术 与应用一以歧口凹陷滨海地区东部为例[J].吉林大学学报

(地球科学版) 2011 41(3):673-679.

- [16] 郑敬贵,赖维成,王军,等. 辽西低凸起南段东营组层序地层 与隐蔽油气藏预测[J]. 沉积与特提斯地质,2012,32(4):8 -13.
- [17] 严德天,王华,王家豪,等.黄骅坳陷沙河街组层序地层样式
 及隐蔽圈闭预测[J].中国矿业大学学报,2008,37(1):30-37.
- [18] 孙超,朱筱敏,昝国军,等.陆西凹陷九佛堂组层序格架及其 与岩性圈闭的关系[J].中国石油大学学报(自然科学版), 2009,33(3):1-5.
- [19] 林承焰, 张宪国, 董春梅. 地震沉积学及其初步应用[J]. 石油 学报 2007 28(2):69-72.
- [20] 朱筱敏,董艳蕾,胡廷惠,等.精细层序地层格架与地震沉积 学研究[J].石油与天然气地质 2011 32(4):615-624.
- [21] 曾洪流 朱筱敏 朱如凯 ,等. 陆相坳陷型盆地地震沉积学研 究规范[J]. 石油勘探与开发 2012 39(3):275-284.
- [22] ZENG H L ,HENTZ T F. High-frequency sequence stratigraphy from seismic sedimentology: Applied to Miocene ,Vermilion Block 50 ,Tiger Shoal area ,offshore Louisiana [J]. AAPG Bulletin ,

2004 88(2):153 -174.

- [23] ZHAO W Z ,ZOU C N ,CHI Y L et al. Sequence stratigraphy , seismic sedimentology , and lithostratigraphic plays: Upper Cretaceous ,Sifangtuozi area , southwest Songliao Basin , China [J]. AAPG Bulletin 2011 95(2): 241 – 265.
- [24] ZENG H L. Frequency-dependent seismic-stratigraphic and facies interpretation [J]. AAPG Bulletin 2013 97(2):201-221.
- [25] 邓宏文 徐长贵 汪洪亮. 陆东凹陷上侏罗统层序地层与生储 盖组合[J]. 石油与天然气地质 ,1998 ,19(4):275 - 279.
- [26] 顾家裕 涨兴阳. 陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用[J]. 石油与天然气地质 2004 25(5):484-490.
- [27] 张世奇 纪友亮. 陆相断陷湖盆层序地层学模式探讨[J]. 石 油勘探与开发. 1996 23(5): 20-23.
- [28] 朱筱敏. 层序地层学[M]. 东营: 中国石油大学出版社. 2000. 11-38.
- [29] 刘明洁.谢庆宾,刘震,等.内蒙古开鲁盆地陆东凹陷下白垩 统九佛堂组一沙海组层序地层格架及沉积相预测[J].古地 理学报.2012,14(6):733-746.

Sequence stratigraphic framework and lithologic traps in the Jiufotang Formation , Ludong depression , Kailu Basin , Inner Mongolia

LIU Ming-jie¹, XIE Qing-bin¹, TAN Xin-yu², WANG Peng³, BAI Lu-shan⁴, SUN Xiao-ming¹

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing, Beijing 102249, China; 2. No. 5 Oil Production Plant, Zhongyuan Oil Field, SINOPEC, Puyang 457001, Henan, China; 3. Changqing Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Eastern Geophysical Company, CNPC, Xi'an 710000, Shaanxi, China; 4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Liaohe Oil Field, CNPC, Panjin 124010, Liaoning, China)

Abstract: With the aid of Vail's sequence stratigraphic theory, the present paper deals with the examination of sequence stratigraphic framework and the development of the lithologic traps in the Jiufotang Formation, Ludong depression, Kailu Basin, Inner Mongolia on the basis of seismic data, cores and well logs. The top and basal surfaces of the Jiufotang Formation are found to be onlap surface and truncation surface, respectively, while the initial flooding surface and maximum flooding surface are observed within the Formation. The Jiufotang Formation encompasses the fan delta facies, nearshore turbidite fan facies, offshore turbidite fan facies and lake facies, and consists of one third-order sequence including lowstand, transgressive and highstand systems tracts. The trap types include structural-litholigic traps in the steep slope zone; the sandstone lenses traps in the depression, and sandstone thinning out-upward traps in the ramp zone.

Key words: Ludong depression; Jiufotang Formation; sequence stratigraphic framework; lithologic trap