

文章编号: 1000-0550(2009)02-0306-06

贝尔凹陷贝西斜坡南屯组层序特征 及其油气成藏模式研究^①

李军辉¹ 卢双舫¹ 柳成志¹ 李占东¹ 肖佃师¹ 孙海雷²

(1 大庆石油学院 黑龙江大庆 163318 & 2 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

摘要 运用层序地层学指导油气藏勘探,是目前油气勘探的热门课题和重要的发展方向之一。以层序地层学理论为指导,综合运用地震、测井、岩心等资料,采用井—震对比综合分析,波阻抗反演来验证的方法,在贝尔凹陷贝西斜坡南屯组中共识别出 2 个主要由扇三角洲—湖泊体系组成的三级层序:层序 I 相当于南一段,层序 II 相当于南二段。每个层序发育完整,分别由低水位体系域、水进体系域和高水位体系域组成。针对研究区目的层段所划分层序发育的特点,在层序地层单元划分和对比基础上,对不同类型层序格架内的沉积特征和层序地层模式进行了总结,并建立了相应的油气成藏模式。

关键词 层序 沉积体系 层序地层模式 油气成藏模式 贝西斜坡

第一作者简介 李军辉 男 1981 年出生 博士 沉积与储层 E-mail: lijunhui_li@163.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

贝尔凹陷在构造、储层、盖层、油气成藏规律等方面的研究取得了大量的成果,而在沉积、层序方面的文献相对较少。贝尔凹陷已有多年的勘探开发历史,在地层、构造、沉积与储层、生油岩等方面积累了大量资料,是开展层序地层学研究的理想地区。探究其层序特征及油气成藏模式对于指导研究区以及整个海拉尔盆地的油气藏勘探有重要意义。

1 研究区地质特征

海拉尔盆地贝尔凹陷贝西斜坡区面积 700 km²,三维地震满覆盖面积 600 km²。区内自南而北发育呼和诺仁、苏乃诺尔两个正向构造带及贝西洼槽一个负向构造带^[1](图 1)。贝尔凹陷地层以白垩系为主,自下而上划分为下白垩统兴安岭群、铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组、伊敏组,上白垩统青元岗组。其中南屯组是主要目的层,其按照岩石组合自下而上分为南屯组一段和南屯组二段,主要发育冲积扇、扇三角洲、滨浅湖等沉积体系^[1]。南屯组一段总体为灰色、灰黑色粉砂质泥岩、泥岩与灰绿色中粗砂岩和灰绿色砾岩等互层,其中夹有灰白色流纹质凝灰岩。南屯组二段则主要为一套灰色、灰绿色、灰白色细砂岩和泥质粉砂岩,局部夹有灰色、灰绿色砾岩和厚层灰黑色泥岩。

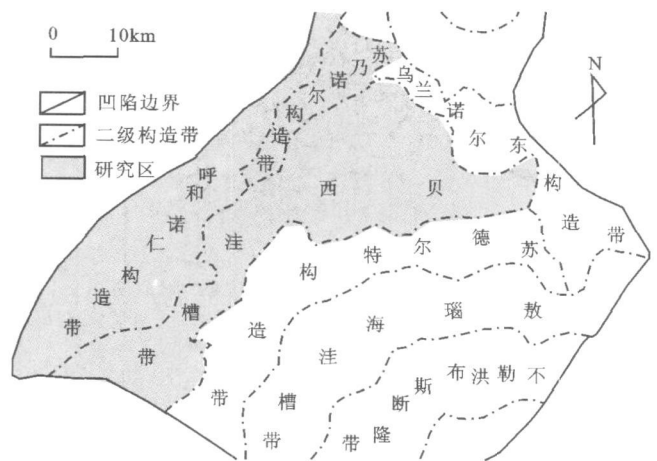


图 1 贝西斜坡构造位置图

Fig 1 The regional location of Beixi Slope

2 层序地层划分

层序是指一套相对整齐的,成因上有联系的,基底以不整合或与之相当的整合面为界的地层单元^[2]。一个完整的层序可由低水位体系域(LST)、水进体系域(TST)和高水位体系域(HST)组成^[3-5]。各体系域的基准面变化决定各层序内沉积体系的构成和时空配置。

本次主要以层序地层学理论为指导,综合运用地

^①教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0345)资助的成果。
收稿日期: 2008-02-29 收修改稿日期: 2008-06-06

震、测井、岩心等资料, 采用井—震对比综合分析, 波阻抗反演来验证的方法, 对贝尔凹陷贝西斜坡进行了层序地层学研究。

2.1 钻井层序地层划分

钻井层序的划分以测井曲线、钻井岩性剖面和岩心、岩屑等资料为基础, 并结合野外露头、各种测试、化验分析资料加以综合分析。可将南屯组划分为两个三级层序, 自下而上分别为层序 I、层序 II (图 2)。每个层序都发育完全, 分别由低水位、水进和高水位体系域组成。

层序 I 相当于南一段, 底界面之上下切河道发育, 上下岩性差异较大, 底界局部与下伏火山岩直接接触, 大部分直接与浅变质的基底致密砂砾岩接触; 顶界面是南二段与南一段之间的局部不整合面。该旋回大致为一对称旋回, 基准面上升半旋回由一系列呈进积—退积样式的短期旋回构成; 基准面下降半旋回总体呈进积叠加样式; 基准面上升与下降半旋回的转换位置为浅湖相的大段暗色泥岩发育段。

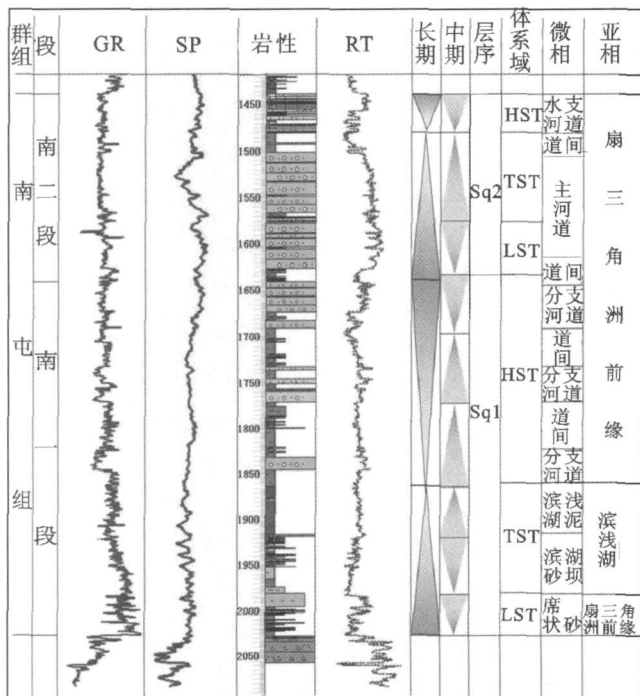


图 2 贝西斜坡贝 17 井地层分析综合图

Fig 2 The Stratigraphic layer analysis Column of Well 17 in the Beixi slope

由于层序边界上下地层的沉积环境和成岩作用条件存在突变特征, 所以在层序边界处测井曲线通常有剧烈的坎值变化。具体表现为电阻率曲线突变, 穿

过层序界面, 测井曲线由高幅值的箱形或钟形突变为低平段, 反映了水体由相对较浅突然变深的特征 (图 2), 研究区大多数井的层序界面为此型式。

层序 II 相当于南二段, 底界面为层序 I 的顶界面, 是一个局部不整合界面, 在测井曲线上, 层序 II 底界面常表现为一定的坎值变化。具体表现为电阻率曲线突变, 层序界面由下向上, 自然电位曲线幅值减小, 深、浅侧向减小, 自然伽玛值增大。顶界面是一个区域不整合界面, 界面之上存在上超、之下存在削蚀现象。

2.2 地震层序的划分

地震层序划分是根据地震反射波终止关系识别不整合面和与其相应的整合面^[6,7]。不整合面的存在是划分层序的直接标志。贝西斜坡存在如下几个不整合面:

T_1 : 为南屯组与铜钵庙组之间的不整合界面即南屯组的底界面, 该不整合为全区性角度不整合, 由于上覆南屯组湖相细碎屑沉积与铜钵庙组粗碎屑沉积之间可以形成很好的波阻抗界面, 为强振幅反射标准层, 地层倾角发生较大变化。镜质体反射率随深度出现不连续变化, 也证明其沉积间断的存在^[8]。

T_{23} : 为南屯组南一段和南二段地层的分界面, 在斜坡上局部出现上超现象, 为杂乱反射特征, 至洼槽带表现为一连续、中强振幅反射轴, 成层性较好。以该反射面为界, 明显分为上下两部分, 是 T_{22} 和 T_3 的地震反射层转换面。

T_{22} : 为大磨拐河组与南屯组之间的一个明显的区域不整合界面。总体上为强振幅, 高连续性反射, 在顶界剥蚀或断失严重的地区呈现断续的反射特征, 界面之上存在上超、之下存在削截现象。

南屯组底界 T_3 和顶界 T_{22} 为两个区域不整合界面, 地震反射特征及地质意义明显, 将两个不整合面之间的南屯组划分为一个二级层序, 该二级层序记录了一个盆地由发生、发展到消亡的完整过程^[9]。同时根据次一级不整合面 T_{23} 将南屯组划分为两个三级层序, 层序 I 相当于南一段, 层序 II 相当于南二段, 该划分方案比董万百 (2006) 的海拉尔盆地贝西地区地震层序的划分方案更加精细 (图 3)。

2.3 井—震对比综合层序分析

井—震对比综合层序地层分析是把测井资料的高分辨率特性和地震资料的区域特性结合起来, 在层序分析过程中相互验证, 相互标定, 它是层序分析中的一个不可缺少的环节。利用合成记录与地震剖面

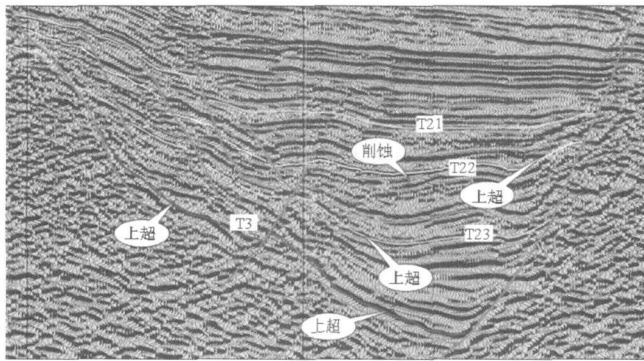


图 3 贝西斜坡层序界面特征

Fig 3 The sequence boundary feature of Beixi slope

对比解释的目的就是建立地震反射与主要地层界面的关系,从而确定主要反射同相轴的地质属性。根据合成地震记录进行井震标定后,钻井与地震结合分析,能起到相互验证,提高纵向划分准确性的目的。图 4 是合成记录与地震的对比剖面, T₃ 为强振幅反射,上下界面波阻特征差异较大; T₂₃ 为中强振幅反射,界面之上存在上超现象; T₂₂ 为强振幅,高连续性反射,界面之下存在削蚀现象。对比结果证明钻井层序与地震层序是统一的。

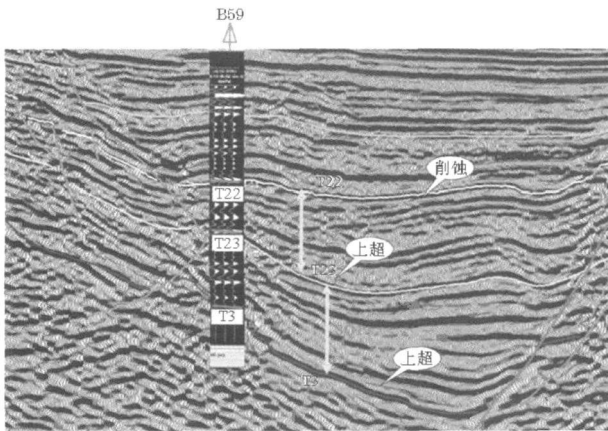


图 4 贝西斜坡过贝 59 井一震对比剖面

Fig 4 The comparison profile of well and seismic through Well Bei 59

2.4 波阻抗反演验证层序划分

波阻抗反演可将纵向精细、横向稀疏的钻井资料和纵向粗略、横向密集的地震资料结合起来^[10], 不仅利用井点上反映地层物性特征的信息, 还将其与地震资料的横向变化规律相结合, 推测地层横向上的物性特征。在波阻抗反演剖面中, 顶界面之下的砂体具有削蚀现象, 底界面之上砂体具有一系列的上超现象

(图 5), 通过识别波阻抗终止关系, 能有效划分层序边界, 对测井和地震的层序划分结果起到进一步的验证和指导作用。

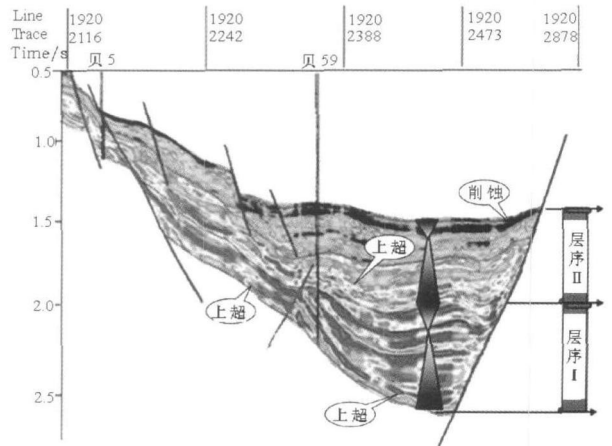


图 5 贝西斜坡波阻抗反演剖面

Fig 5 The impedance inversion profile of Beixi slope

3 层序格架中沉积体系分析

3.1 层序 I (南一段)

层序 I 相当于南一段, 底界面 (T₃) 为区域不整合界面, 顶界面 (T₂₃) 为一个局部不整合界面。该层序由 LST、TST 和 HST 组成, 其中 LST 形成于铜钵庙沉积晚期, 当时湖泊水域很小, 在有限的湖泊水域内。在断阶坡折之下, 发育呈低振幅双向下超、丘型地震相, 内部反射杂乱的盆底扇; 同时在断阶坡折之下, 发育一端上超反射结构, 或者呈斜交前积结构的低水位楔沉积体系。而大部分地区处于隆起剥蚀状态, 在隆起区具有陆上可容纳空间地带见冲积扇、辫状河道等体系。TST 开始在局部出现了半深湖亚环境, 但水域很小, 隆起剥蚀区范围较大, 以滨、浅湖亚相为主。在局部半深湖亚环境发育地震反射轴连续性差, 变振幅或呈杂乱薄层近岸水下扇、盆底扇体系, 在滨、浅湖亚环境发育了砂坝等沉积体系。HST 形成于南屯组沉积早期, 以扇三角洲体系发育为特征。在局部半深湖亚环境发育近岸水下扇、盆底扇体系, 在滨、浅湖亚环境偶见沙滩、砂坝等沉积体系 (图 6)。

3.2 层序 II (南二段)

层序 II 相当于南二段, 底界面 (T₂₃) 为一局部不整合界面, 顶界面 (T₂₂) 为大磨拐河组与南屯组之间的界面, 是一个区域不整合面。该层序也发育完整由 LST、TST 和 HST 组成。LST 形成于南一段地层沉积初期, 此时湖泊水域较小但较层序 I 低水位体系域

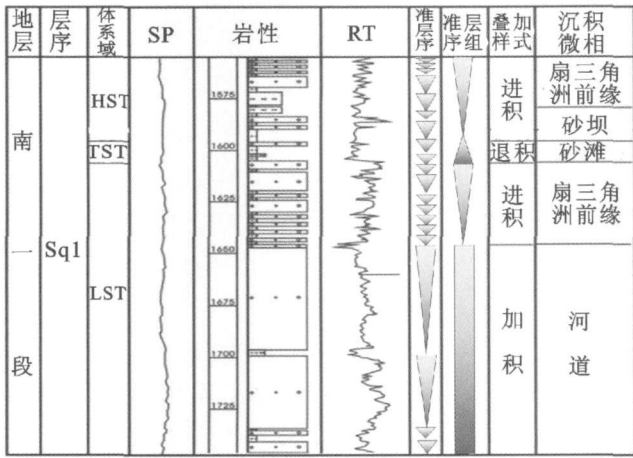


图 6 贝 5 井沉积层序构型特征

Fig 6 The sequence characters of Well Bei 5

范围大, 仍然以滨湖亚相为主。在有限的湖泊水域内, 低水位体系域发育有盆底扇、低水位楔体系。在隆起剥蚀地区, 在具有陆上可容纳空间地带见冲积扇、辫状河道等体系。TST 在本区仍然以滨、浅湖亚相为主。在半深湖亚环境发育少量薄层近岸水下扇、盆底扇体系, 在滨、浅湖亚环境发育了砂坝等沉积体系。HST 形成于南屯组沉积晚期, 以扇三角洲体系发育为特征, 但是范围远较层序 I 高水位体系域逊色。主要发育深湖和半深湖、近岸水下扇、盆底扇等沉积体系 (图 7)。

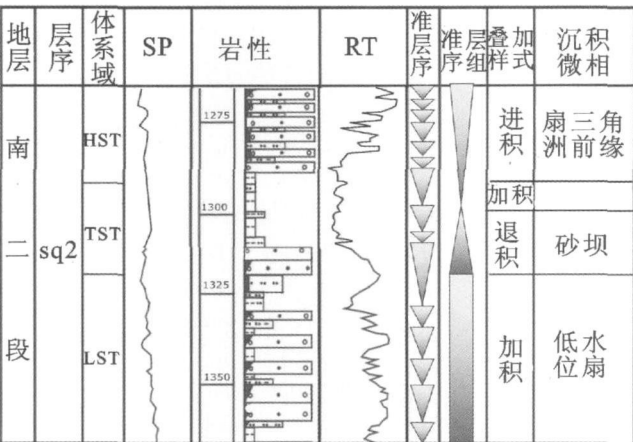


图 7 贝 59 井沉积层序构型特征

Fig 7 The sequence character of Well Bei 59

4 层序地层模式

综上所述, 本研究区的南屯组为断陷盆地快速沉降时期形成的, 此时期地壳发生沉降, 并伴随着更强

烈的拉张, 使湖泊变深变大, 沉积了以暗色泥质岩为主的湖相沉积。这一阶段是海拉尔盆地主要生油岩和储集层形成的阶段, 通过对层序地层的划分和层序内沉积体系的发育特征分析研究, 得出本区层序地层模式 (图 8)。

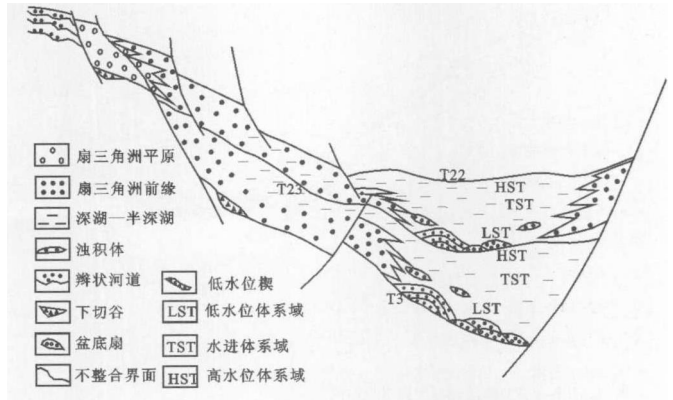


图 8 贝西斜坡南屯组层序地层模式

Fig 8 Sequence stratigraphic model of Nantun Formation in Beixi slope

层序可由低水位体系域 (LST)、水进体系域 (TST) 和高水位体系域 (HST) 组成。其底以 I 型不整合面为界, LST 开始发育时水体较浅, 主要发育下切谷、盆底扇、扇三角洲—湖泊沉积体系, TST 时期, 湖盆不断沉降, 湖面上升, 湖水越过斜坡和边界断层, 在滨、浅湖亚环境发育了浊积体、砂坝等沉积体系, 水进体系域深湖—半深湖环境下形成的暗色泥岩沉积是主要的烃源岩, 可作为低水位砂体的良好区域盖层。HST 以扇三角洲体系发育为特征, 在局部半深湖亚环境发育近岸水下扇、盆底扇体系, 在滨浅湖亚环境偶见砂滩、砂坝等沉积环境。

5 油气成藏模式

贝西斜坡的断裂陡坡带不但控制砂体的厚度和展布方向, 而且还控制着优质烃源岩的发育, 进而对岩性油气藏富集带的发育位置进行控制。

在断裂陡坡带下不仅发育了较厚的低位域砂, 而且也是水进域和高位域早期优质烃源岩发育的主要部位。因此, 发育在低位域砂体之上的水进域和高位域早期优质烃源岩既构成低位域砂体的盖层, 又可以作为其直接的油源岩, 从而构成了良好的生、储、盖组合。同时, 控制陡坡带发育的断层在断层活动期可以作为油气向上运移的输导通道, 使得发育在断层附近的砂体与深层烃源岩相沟通; 在断层活动的相对宁静

期,又可以作为油气藏的封堵断层,有利于油气藏的保存^[11]。因此,发育在断裂陡坡带之下的储层、砂体、断层组合,主要形成了以下几种类型油藏模式(图 9):

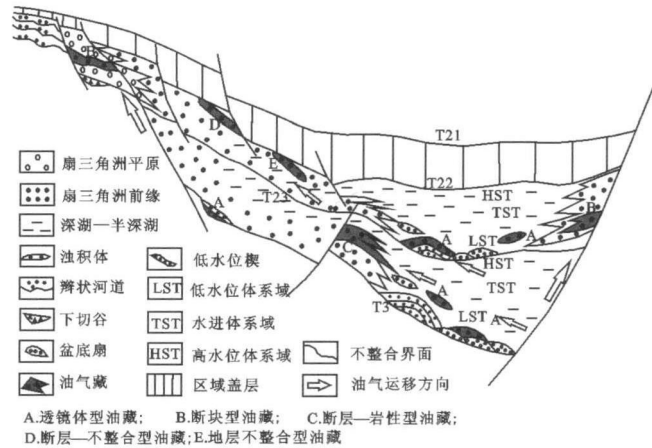


图 9 贝西斜坡南屯组油气成藏模式

Fig 9 Hydrocarbon accumulating model of Nantun Formation in Beixi slope

透镜体型油藏:受陡坡带控制,发育在深湖的低位域盆底扇,透镜体砂体被深湖泥岩所包围,形成“自生自储自盖”孤立砂体油气藏,如霍 1、霍 3 井等(图 9A)。

断块型油藏:在盆底边缘,断层倾向与地层倾向一致,断层倾角大于地层倾角,油气主要以侧向运移方式向断块高部位聚集,如贝 19、贝 20 井等(图 9B)。

断层—岩性型油藏:发育在陡坡带下的扇三角洲平原和前缘砂体,被断层切割,形成断层岩性圈闭,断层既起遮挡作用,又起到沟通油源的作用,成为油气运移通道,沿断层运移上来的油气,在岩性圈闭中聚集,从而形成断层—岩性油气藏,如贝 17、贝 5、贝 301 井等(图 9C)。

断层—不整合型油藏:在盆地斜坡边缘层序界面之下,不整合面被断层切割而复杂化,形成断层不整合圈闭,断层早期起到沟通油源的作用,晚期起到遮挡的作用,而不整合面作为油藏的侧向封堵条件,该油藏为层状油藏,如贝 3、贝 13 井等(图 9D)。

地层不整合型油藏:在盆地斜坡边缘层序界面之下,由于地层倾斜翘起,在后期风化剥蚀过程中使早期的圈闭遭受不同程度的破坏,后期被非渗透泥岩不整合覆盖,油气来自下部或上部,油气经侧向运移进入圈闭,形成不整合遮挡油气藏,如贝 37、贝地 4 井

等(图 9E)。

6 结论

(1) 以层序地层学理论为指导,综合运用地震、测井、岩心等资料,采用井—震对比综合分析,波阻抗反演来验证的方法,在贝尔凹陷贝西斜坡南屯组中共识别出 2 个主要由扇三角洲—湖泊体系组成的三级层序,自下而上分别为层序 I 和层序 II。

(2) 贝尔凹陷贝西斜坡南屯组层序发育完整,每个层序的体系域具有三分性,即低水位体系域、水进体系域、高水位体系域。对层序地层的划分和层序内沉积体系的发育特征分析研究,总结出本区层序地层模式。

(3) 发育在断裂陡坡带之下的储层、砂体、断层组合,主要形成了断层—岩性型油藏、透镜体型油藏、断块型油藏、断层—不整合型油藏、地层不整合型油藏等几种成藏模式。

参考文献 (References)

- 董万百, 齐玉林, 秦龙卜, 等. 海拉尔盆地贝西地区坡折带成藏类型划分 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2006 36(5): 811-814 [Dong Wanbai, Qi Yulin, Qin Longpu, et al. Classification on the reservoir formed styles of the broken belt in Beixi Area of Hailer Basin [J]. Journal of Northwest University Natural Science Edition 2006 36(5): 811-814]
- Vail P R. Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration [J]. AAPG Memoir 1977 26: 63-97
- 刘召君, 程日辉, 易海水. 层序地层学的概念、进展与争论 [J]. 世界地质, 1994 13(3): 56-68 [Liu Zhaojun, Cheng Rihui, Yi Haiyong. Concept development and debate on sequence stratigraphy [J]. World Geology 1994 13(3): 56-68]
- 李继红, 魏魁生, 厉太亮, 等. 非海相沉积层序的成因和构型特征 [J]. 沉积学报, 2002 20(3): 409-415 [Li Jihong, Wei Kuisheng, Li Tailiang, et al. Genetic & architectural characteristics of non-marine depositional sequence [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2002 20(3): 409-415]
- 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 [Zai Hui, Zhao Wenchi. The application of sequence framework to oil and gas exploration [J]. Petroleum Exploration and Development 2000 27(5): 40-43]
- 张万选, 张厚福, 刘震. 陆相地震地层学 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1993 [Zhang Wanxuan, Zhang Houfu, Liu Zhen. Continental Seismic Stratigraphy [M]. Dongying Shandong Petroleum University Press 1993]
- 汲生珍, 刘震. 波阻抗反演技术在层序地层与沉积分析中的应用 [J]. 石油勘探与开发, 2005 32(6): 66-68 [Ji Shengzhen, Liu Zhen. Application of wave impedance inversion in sequence stratigraphy [J]. Petroleum Exploration and Development 2005 32(6): 66-68]

- phy and sedimentary analyses [J]. *Petroleum Exploration and Development* 2005, 32(6): 66-68]
- 8 郝石生, 贺志勇, 高耀武, 等. 恢复地层剥蚀厚度的最优化方法 [J]. *沉积学报*, 1988, 6(4): 93-99 [Hao Shisheng He Zhuyou Gao Yaowu et al. The optimal method for estimating the removed thickness of sediment using homogenization temperature of fluid inclusions [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1988, 6(4): 93-99]
- 9 孙素青, 沈渭洲. 大民屯凹陷沙河街组四段、三段层序特征及其与油气成藏条件之间的关系 [J]. *地球学报*, 2006, 27(1): 57-62 [Sui Suqing Shen Weizhou. Sequence stratigraphic characteristics of No. 3 and No. 4 Members of Shahejie Formation in Damin屯 Sag and relation to petroleum exploration [J]. *Acta Geoscientia Sinica* 2006, 27(1): 57-62]
- 10 吴坚, 张塞, 闫桂花, 等. 波阻抗反演技术在区域层序地层研究中的应用 [J]. *石油地球物理勘探*, 2002, 37: 58-60 [Wu Jian Zhang Sai Yan Guhua et al. Application of wave impedance inversion in sequence stratigraphy [J]. *Oil Geophysical Prospecting* 2002, 37: 58-60]
- 11 黄传炎, 王华, 肖敦清, 等. 板桥凹陷断裂陡坡带沙一段层序样式和沉积体系特征及其成藏模式研究 [J]. *沉积学报*, 2007, 25(3): 386-390 [Huang Chuanyan Wang Hua Xiaodunqing et al. Sequence patterns characteristics of depositional systems and model of reservoirs of fault steep slope belt of the First Member of Shahejie Formation in Banqiao Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007, 25(3): 386-390]

Sequence Characteristics and Hydrocarbon Accumulation Model of Nantun Formation in Beixi Slope of Beier Sags

LI Jun-hui¹ LU Shuang-fang¹ LIU Cheng-zhi¹
LI Zhan-dong¹ XIAO Dian-shi¹ SUN Hai-lei²

(1 Daqing Petroleum Institute Daqing Heilongjiang 163318)

2. Research Institute of Exploration Development Daqing Heilongjiang 163712)

Abstract Reservoir prediction based on sequence stratigraphy is one of popular and significant research subjects in hydrocarbon exploration. Based on the theory of sequence stratigraphy, comprehensively used the seismic, well logging, core and materials, comprehensively analyzed by well-seismic correlation, and verified by acoustic impedance, two third-order sequences which are mainly composed of fan delta-lacustrine sedimentary system can be identified in Nantun group of Beier depression, sequence I equal to K_1n_1 , sequence II equal to K_1n_2 . Every sequence develops well and all consist of lowstand system tracts (LST), transgressive system tracts (TST) and highstand system tracts (HST). According to the development characteristics of sequence in the formation in the region of interest, based on the identification and correlation of sequence stratigraphic units, characteristics of sediment and sequence stratigraphic model of different sequence framework are summarized, and the hydrocarbon accumulation model is established.

Key words sequence sedimentary system, sequence stratigraphic model, hydrocarbon accumulation model, Beixi Slope