

文章编号: 0253-9985(2009)06-0747-07

冀中坳陷饶阳凹陷留西地区沙三上亚段 层序地层与隐蔽油藏

刘永强^{1,2}, 刘晓龙^{1,2}

(1. 中国石油化工股份有限公司 青岛安全工程研究院, 山东 青岛 266071;

2 化学品安全控制国家重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 根据层序地层学基本原理, 利用地震、测井、岩相等资料, 对冀中坳陷饶阳凹陷留西地区古近系沙三上亚段进行了层序地层学研究, 建立了全区的层序地层格架。研究表明, 沙三上亚段为一个完整的三级层序, 可分为低位、湖侵和高位 3 个体系域。在此基础上, 分析了层序格架内各体系域的沉积相平面展布特征。沙三上亚段主要发育辫状河三角洲沉积相, 其中前缘亚相分布面积最广。区内低位体系域砂体与湖侵体系域烃源岩形成了十分有利的生储盖组合, 具有优越的隐蔽圈闭发育条件。结合区域构造特征, 综合分析认为中南部沙三上亚段低位体系域辫状河三角洲前缘砂体是下一步隐蔽油藏勘探的有利区域。

关键词: 辫状河三角洲; 层序地层; 隐蔽油藏; 留西地区; 饶阳凹陷; 冀中坳陷

中图分类号: TE122.3 **文献标识码:** A

Sequence stratigraphy of the upper third member of the Shahejie Formation in Luxi area of the Raoyang Sag, the Jizhong Depression and exploration of subtle reservoirs

Liu Yongqiang², Liu Xiaolong²

(1. SINOPEC Qingdao Safety Engineering Institute Qingdao Shandong 266071 China

2 State Key Laboratory of Chemical Safety and Control Qingdao Shandong 266071, China)

Abstract: Exploration of subtle reservoirs is a hot topic and one of the future directions in oil exploration. In this paper, research on sequence stratigraphy of the upper third member of the Shahejie Formation (E₃) in the Luxi area of the Raoyang Sag, the Jizhong Depression is made based on basic principles of sequence stratigraphy and by using seismic logging and lithofacies and other data. Sequence stratigraphic framework of the Luxi area is established. According to the research, the upper E₃ is a complete third-order sequence which can be divided into lowstand, lake transgression and highstand system tract. Based on these results, the plane distribution features of sedimentary facies in each system tract are analyzed under the sequence stratigraphic framework. The upper E₃ is dominated by braided river delta facies, of which the delta front subfacies is the most extensive. The sandstone in the lowstand system tract and the source rock in the lake transgression system tract form an excellent source-reservoir-seal combination, which is favorable for the development of subtle reservoirs. Considering the regional structure features, it is suggested that the favorable exploration targets for subtle reservoirs should be the sand body in the braided river delta front of the lowstand system tract in the upper E₃ in the central and southern parts of the study area.

Key words: sequence stratigraphy; braided river delta; subtle reservoir; Luxi area; Raoyang Sag; Jizhong depression

收稿日期: 2009-05-13

第一作者简介: 刘永强 (1975-), 男, 工程师, 石油工程及安全。

层序地层学的概念和研究方法在我国东部陆相断陷含油气盆地研究和隐蔽油气藏勘探中已得到广泛应用,国内学者对陆相断陷盆地层序形成的动力学机制、层序界面的识别标志、层序的级次划分、体系域构成以及隐蔽油气藏的勘探方法等都做了深入的探讨,为其在我国含油气盆地的广泛应用并有效地指导隐蔽油气藏的勘探做了有益的尝试,取得了良好的勘探成果^[1~12]。对于饶阳凹陷这个已经进入勘探成熟期的老油田来说,寻找隐蔽油藏是提高产量、促进油田可持续发展的有效途径。本文运用层序地层学的基本理论,对饶阳凹陷留西地区古近系沙三上亚段进行了分析,提出了下一步隐蔽油藏勘探的有利方向。

1 地质概况

位于饶阳凹陷中部的留西构造带,东以留路断层为界,西至大王庄东断层下降盘,与大王庄构造带相邻,北接河间生油洼槽,南邻饶南洼槽及留楚构造带,勘探面积约 260 km²(图 1)。古近系地层厚度最大可达 6 000 m 左右,自下而上发育有孔

店组、沙四段、沙三下亚段、沙三中亚段、沙三上亚段、沙二段、沙一段和东营组,发育沙三期、沙一期两次成湖期,分别形成两套烃源岩^[13]。沙三上亚段是该构造带的重要含油层系,其高部位早在 20 世纪 80 年代就发现了留 17、留 83 等多个构造油藏,探明石油地质储量 912×10^4 t^[14]。随着勘探程度的深入,隐蔽油藏的寻找日益重要,笔者在对该区沙三上亚段层序地层学研究基础上,建立全区的层序地层格架,分析了沉积体系的展布特征,为隐蔽油藏的深化研究、扩大勘探提供有益的思路。

2 层序地层分析

根据岩心、测井及地震资料,结合构造与沉积演化特征分析,认为该区沙三上亚段为一完整三级层序,属同生断拗层序^[2,3]。据岩电组合与沉积旋回的变化特征和准层序组的叠加样式,该层序可进一步划分为低位、湖侵和高位 3 个体系域(图 2)。

2.1 层序边界

由层序地层学原理可知,层序边界为区域上易识别的不整合面、较容易识别的局部不整合面以及与之对应的整合面^[2,3,10]。根据钻井、地震和有关的分析化验资料,该层序底界较易识别,为一个局部不整合面,在饶阳凹陷基本可全区追踪。在地震剖面上,该界面之下的地震反射特征与界面之上明显不同,其下主要为杂乱或乱岗状反射,其上地震反射同相轴的连续性明显变好,并具明显的上超现象。在局部地区可以见到其对下伏地层的削截现象或见深切谷等特征(图 3)。在钻井剖面上,该界面之上发育了大套块状砂岩,其下则为一套以暗色泥岩为主的层系,而且出现比较稳定的炭质泥岩薄层,说明上、下两套层系在沉积发育上存在着沉积间断,同时在测井曲线上也有显著的变化(图 2)。

该层序顶界为沙二段底,在地震剖面上表现为可连续追踪的强振幅反射同相轴,其上、下未见明显的不整合标志,在钻井剖面上其上、下的沉积特征亦表现出较好的连续性。但在饶阳凹陷南部地区,地震剖面出现削截现象,表现为一个不整合

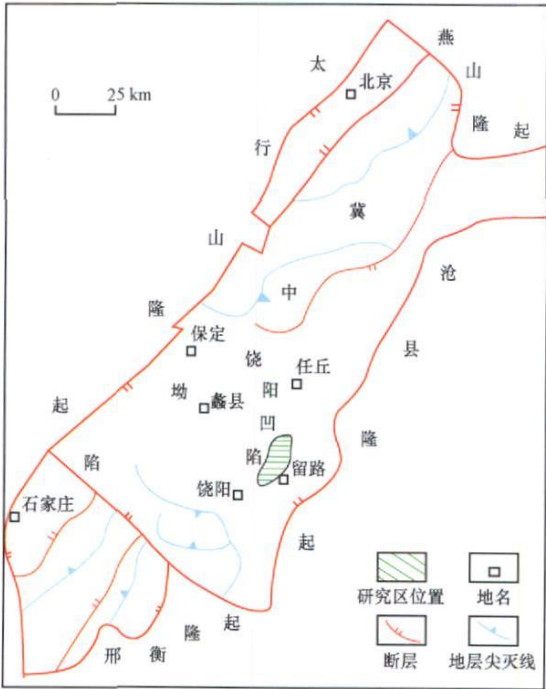


图 1 饶阳凹陷留西地区构造位置
Fig 1 Location of Luxi area in the Raoyang Sag

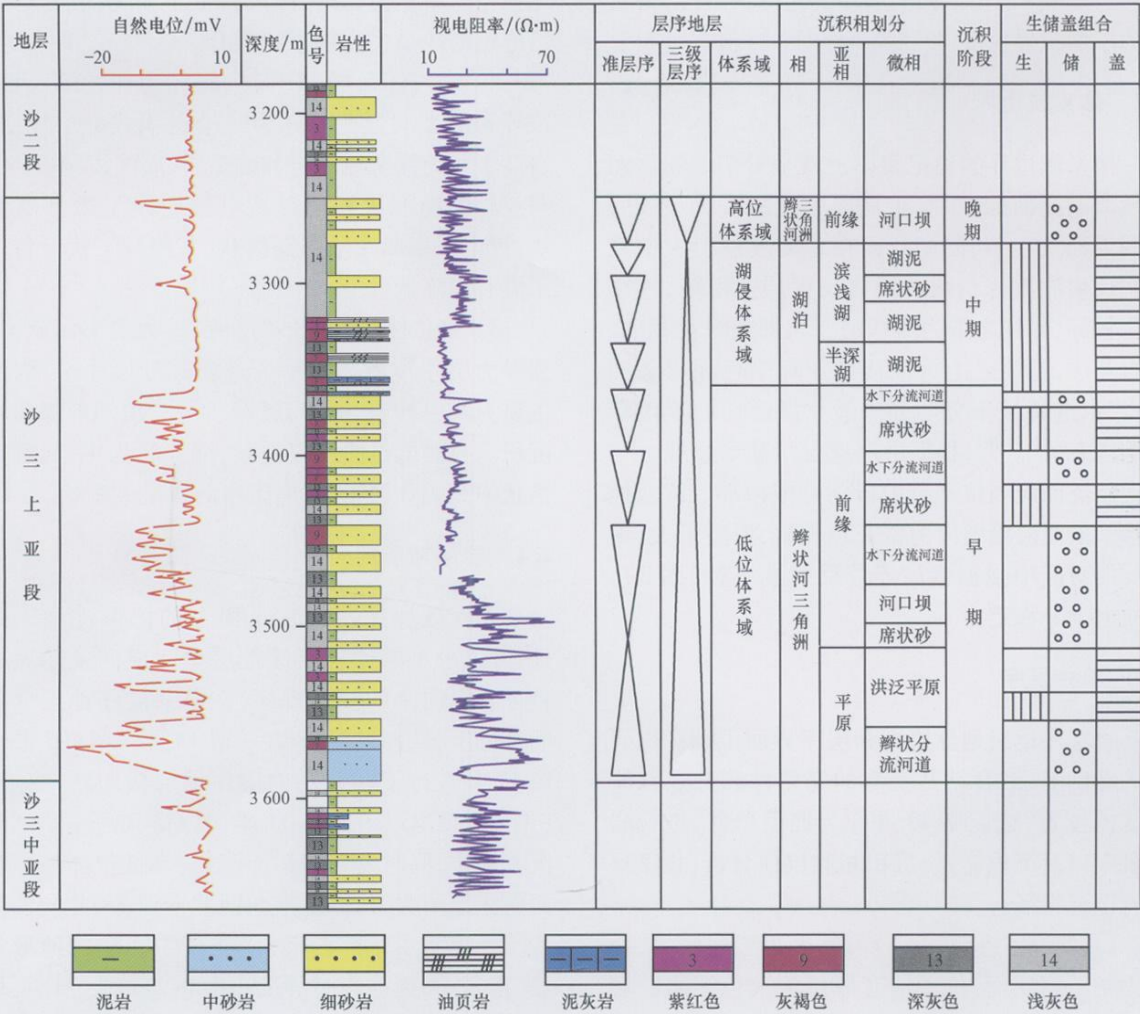


图 2 饶阳凹陷留西地区路 43 井古近系沙三上亚段综合图

Fig. 2 Comprehensive analysis of the upper Es³ in Lu-43 well in Liuxi area, the Raoyang Sag

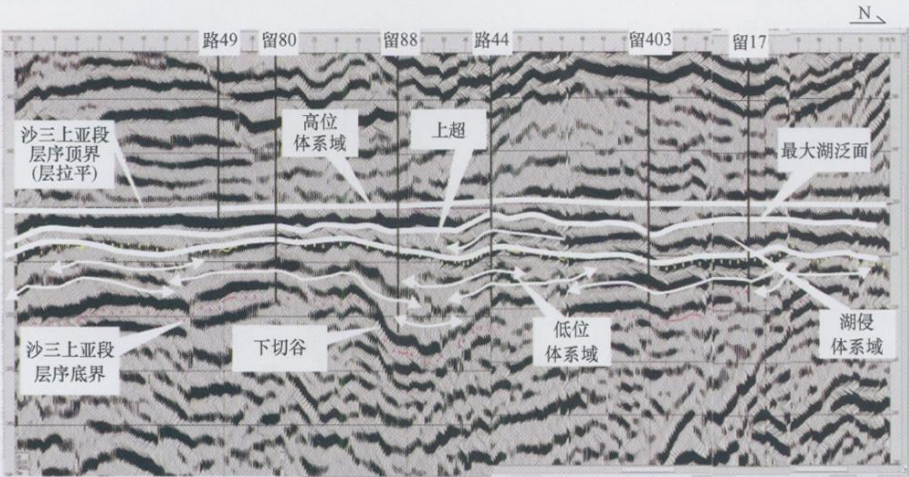


图 3 过路 49(南)—留 17 井(北)沙三上亚段地震剖面

Fig. 3 Seismic section of the upper Es³ tied to Lu-49 well (south) to Liu-17 well (north)

面^[13-14]，为保证整个凹陷层序研究的一致性，将其作为层序顶界。

2.2 体系域边界

体系域边界的确定实质上就是对初始湖泛面和最大湖泛面的识别，它是层序内部较次一级的时间界面^[2-3]。初始湖泛面在地震反射上为中强振幅反射波波峰构成的地震反射层（图 3），连续性比较好，界线之下为辫状河三角洲前缘亚相砂、泥岩互层，界线之上为滨浅湖亚相暗色泥岩和油页岩，水进特征十分明显。最大湖泛面的界定和凝缩段有关^[15-18]，根据层序地层学基本原理^[2-3]，最大湖泛面应当位于凝缩段附近或内部。留西地区沙三上亚段凝缩段为深灰色泥岩，厚度不大，地震反射对应中强振幅高连续反射波波谷（图 3），横向上十分稳定。

2.3 单井层序

在层序地层划分原则和层序界面识别标志研究的基础上，结合钻井资料的完整性和井点在研究区的位置，选取路 43 井作为典型单井，进行岩心观察以及沉积体系、沉积相和层序分析（图 2），具有以下特征：

1) 低位体系域（LSI）。底界为层序底界，顶界为初始湖泛面，位于一套厚层深灰色泥岩的底部。该体系域为一个退积式准层序组，岩性为灰色砂岩和深灰色泥岩互层，近底部出现少量紫红色泥岩。主要属辫状河三角洲前缘水下分流河道、河口坝和分流河道间沉积，局部为辫状河三角洲平原分流河道和洪泛平原沉积。测井曲线表现

为视电阻率基值偏高，曲线特征主要为尖刺状，自然电位曲线呈中高幅指状组合。

2) 湖侵体系域（TSI）。底界为初始湖泛面，顶界为最大湖泛面。亦为一个退积式准层序组，岩性主要为深灰色泥岩和油页岩，属滨浅湖一半深湖亚相的湖泥沉积。自然电位曲线呈微波状起伏；视电阻率曲线呈弱锯齿状，基值较下伏低位体系域有所降低。

3) 高位体系域（HST）。底界为最大湖泛面，顶界为层序顶界。为一个进积式准层序组，岩性主要为灰色砂岩、泥岩，属辫状河三角洲前缘滩坝沉积。自然电位曲线以波状、漏斗状为主，局部见指状中高幅负异常，视电阻率曲线呈尖刺状。

2.4 层序地层剖面

为保证层序边界在平面上的协调性和一致性，并进一步掌握各层序地层单元横向上的展布特征及纵向上的演化规律，在单井层序地层分析的基础上，选择过留 88 井—留 44 井—留 403 井—留 17 井进行了联井剖面层序地层横向对比分析（图 4），得出以下认识：①本区以辫状河三角洲相沉积为主，同时发育有湖湘沉积；②低位体系域自西向东超覆尖灭，自东南向西北由留 88 井向两侧减薄。表明了东高西低、南北高中间洼的地形背景，留 88 井区为当时的沉积中心。③湖侵体系域横向分布较稳定，厚度较薄，反映了该体系域沉积期湖侵速度快、时间短的沉积特征。④高位体系域在走向剖面上厚度变化不是很大，在倾向剖面上自东向西逐渐增厚，反映该沉积期本区地形相对平缓。

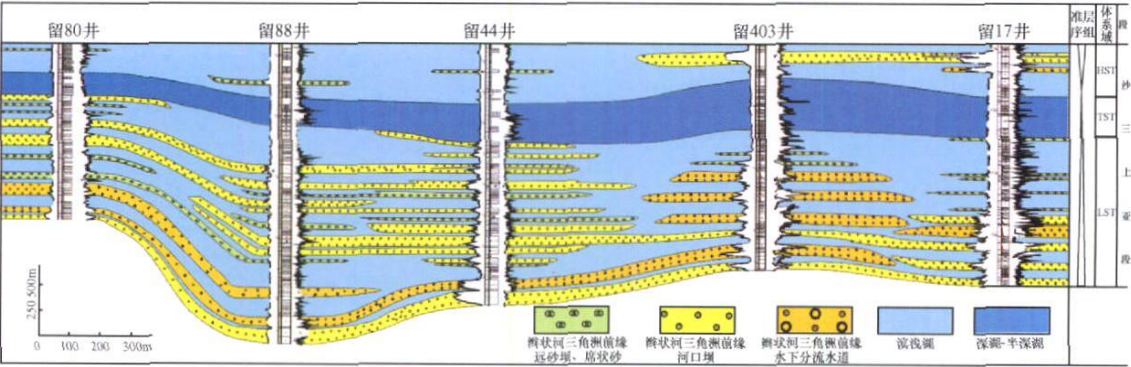


图 4 留 80—留 17 井沙三上亚段层序地层剖面
Fig 4 Sequence stratigraphy profile of the upper Es from Liu 80 well to Liu 17 well

3 沉积相平面展布

在单井相、剖面相横向对比分析基础上, 结合砂岩百分比、砂岩厚度的变化趋势及地震相分析, 明确了各体系域沉积相的平面展布特征^[19]。

受东部留路断层与西部大王庄东断层控制, 沙三上亚段各体系域均发育辫状河三角洲砂体, 其物源方向和平面展布具有一定的继承性。低位体系域沉积期来自东北方向的物源水系将碎屑物质带入湖区, 形成了东部大型辫状河三角洲沉积体系, 砂体规模最大, 平面上呈不对称朵状自东向西插入湖区。受地形控制, 进入湖区后, 自南而北形成了留 88 井、留 17 井和路 47 井等朵叶体, 在路 45 井、留 78 井、留 80 井和留 91 井发育远砂坝微相沉积 (图 5)。

随后断陷作用加剧, 湖侵速度加快, 可容空间迅速增大, 进入湖侵体系域沉积期, 此时古地形趋于平缓, 东南方向水系的影响减弱, 本时期沉积厚度较薄, 沉积中心位于留 423 井区, 与沉积早期相比, 沉积中心向东南方向迁移。区内广泛形成了一套以泥岩为主的湖泊相沉积, 其中滨浅湖亚相大面积分布, 深湖一半深湖亚相仅在留 423 井区发育。在东部边缘留路断层控制下发育辫状河三角洲前缘沉积, 在路 44 井、留 72 井、路 47 井等井

区形成朵叶砂体, 在留 84 井、留 88 井区发育远砂坝沉积 (图 6)。此后进入高位体系域沉积期, 基本继承了湖侵体系域的沉积特点, 湖域面积有所变小, 但砂体规模变大, 东南部和东部发育辫状河三角洲沉积, 平面上在路 44 井、留 17 井、路 47 井等井区呈朵状向湖区推进, 南北向延伸范围较宽, 但次于沉积早期, 在路 45 井发育远砂坝沉积 (图 7)。

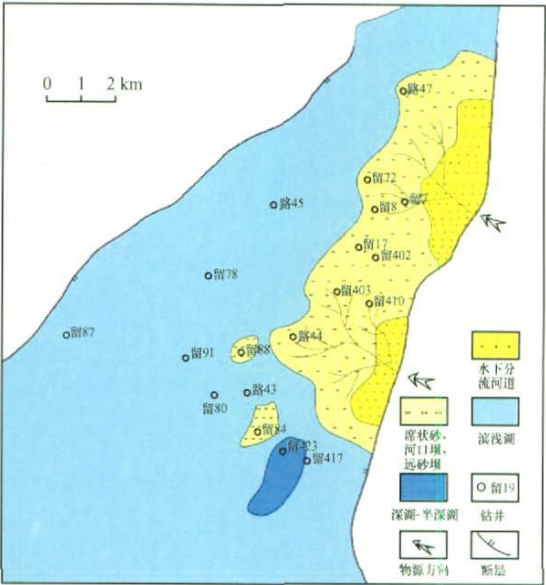


图 6 留西地区沙三上亚段湖侵体系域沉积相
Fig. 6 Sedimentary facies map of the lake transgression system tract of upper Es³ in Liuxi area

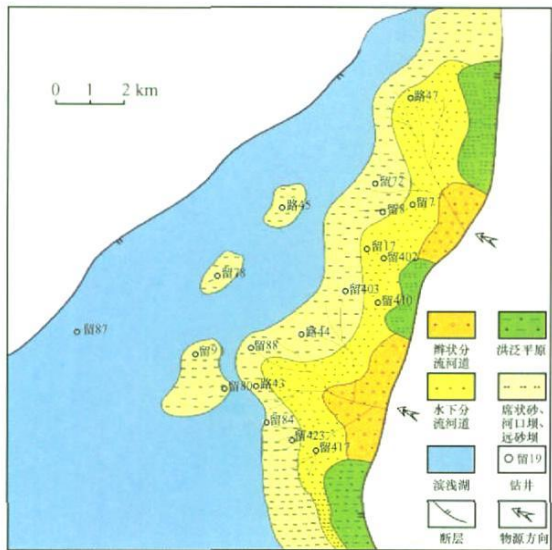


图 5 留西地区沙三上亚段低位体系域沉积相
Fig. 5 Sedimentary facies map of the lowstand system tract of the upper Es³ in Liuxi area

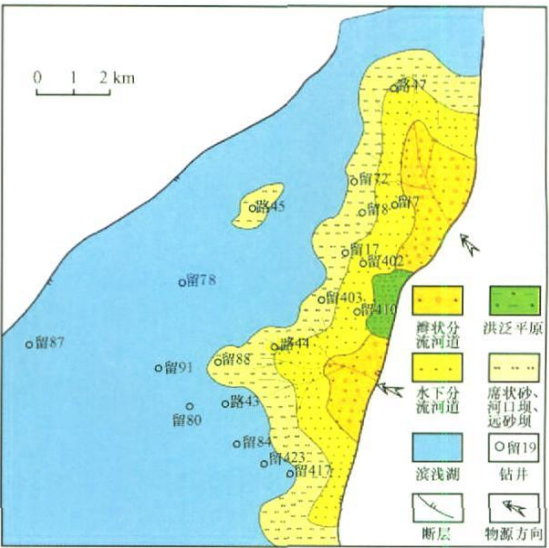


图 7 留西地区沙三上亚段高位体系域沉积相
Fig. 7 Sedimentary facies map of the highstand system tract of the upper Es³ in Liuxi area

4 隐蔽油藏有利区

层序地层学研究实践表明,各体系域均有发育储集层的潜力,如果有良好的成藏条件,均可形成油气藏,但 3 个体系域在形成有利油气藏中的作用和地位存在差别^[23-10]。本次研究发现,在留西地区沙三上亚段已发现油藏的主要储集层中,路 44、路 43、留 80、留 88 等约 80% 以上的油藏的主要储集层均位于低位体系域中。低位体系域之所以容易形成油气藏,一方面是因为低水位期物源充足,发育了多期次互相叠置连片的砂体,其向湖一侧的砂体常与较深水环境的泥岩交互成层,较易形成岩性圈闭;另一方面,低位体系域上部的湖侵体系域,是良好的盖层和油源岩,为油气藏的形成提供了良好的条件。而高位体系域在本区厚度较薄,储集砂体性能不如低位

体系域。

从构造特征分析^[20],留西构造带为帚状断裂体系,断层向北收敛呈“入”型,向南发散散开,北部是应力集中区,断层发育密集、断块破碎,油藏类型以构造油藏为主,断层是控制油气分布的主要因素,不同断块有不同的油水系统。而南部由于应力作用相对较弱,断层相对较少,来自东南、东部的辫状河三角洲朵叶砂体多形成隐蔽油藏,且含油面积和储量规模均较北部破碎的断块油藏大(图 8)。如留 80 沙三上亚段油藏,构造上无圈闭,却形成了断层—上倾尖灭和坡折带—上超尖灭油藏。因此,中南部是寻找隐蔽油藏的重点地区。

综合上述分析可知,区内中南部低位体系域发育的辫状河三角洲前缘砂体与湖侵体系域烃源岩的有机组合形成了沙三上亚段最有利的储集体,是下一步隐蔽油藏勘探的优选方向。

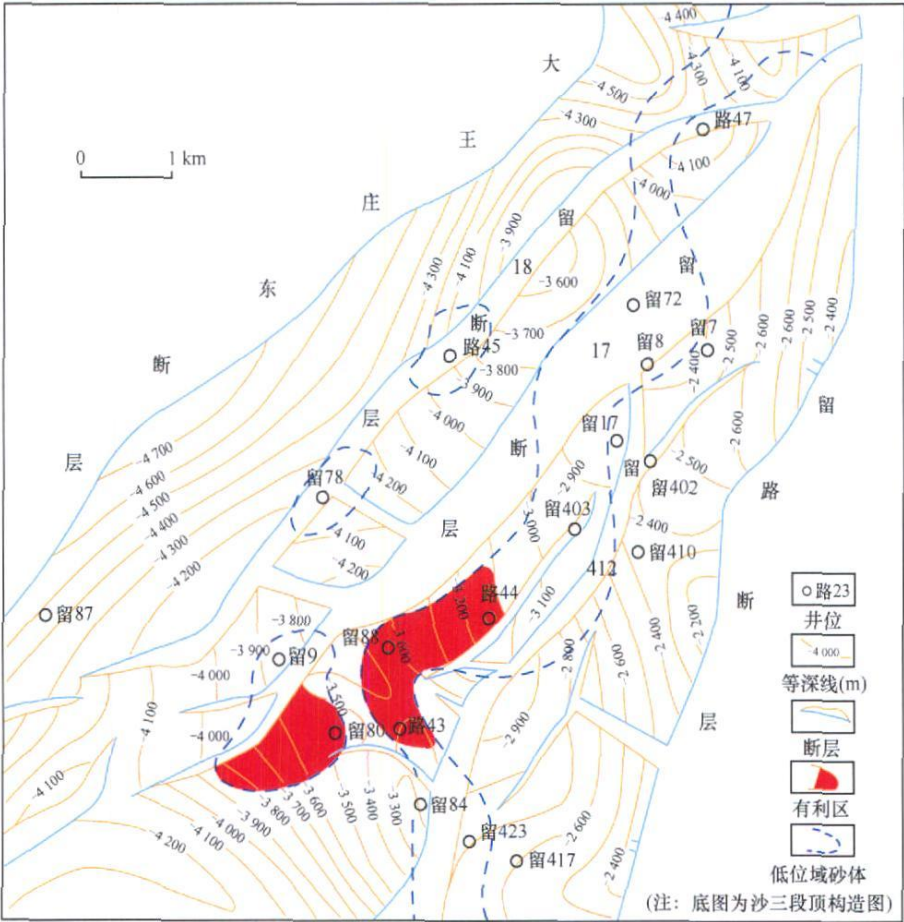


图 8 留西地区沙三上亚段隐蔽油藏有利区带
Fig 8 Favorable plays of subtle reservoirs of the upper Es₃ in Liuxi area

5 结语

- 1) 以层序地层学为基础, 结合地震、测井、岩相等资料, 认为留西地区沙三上亚段为一个完整的三级层序, 可划分为低位体系域、湖侵体系域和高位体系域。
- 2) 受东部留路断层与西部大王庄东断层控制, 主要发育辫状河三角洲沉积。低位体系域沉积厚度较大, 沉积的辫状河三角洲前缘砂体是本区主要的储集体, 同时与湖侵体系域烃源岩形成了十分有利的生储盖组合, 具有优越的隐蔽圈闭发育条件, 结合本区构造背景, 认为中南部沙三上亚段低位域辫状河三角洲砂体是下一步勘探的有利区域。

参 考 文 献

1 顾家裕. 陆相湖盆层序地层学模式[J]. 石油勘探与开发, 1995 22(4): 12~17

2 纪友亮, 张世奇, 张宏. 层序地层学原理及层序成因机制模式[M]. 北京: 地质出版社, 1998 1~30

3 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷盆地层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996 1~74

4 石世革. 黄骅拗陷板桥凹陷古近系沙一段中部层序地层学研究及岩性油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质, 2008 29(3): 320~325

5 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

6 冯有良, 李思田. 解习农. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式[J]. 地学前缘, 2000 7(3): 119~132

7 冯友良, 李思田, 邹才能. 陆相断陷盆地层序地层学研究[M].

北京: 科学出版社, 2006 165~168

8 冯有良, 李思田. 东营凹陷沙三段层序低位域砂体沉积特征[J]. 地质论评, 2001 47(3): 278~286

9 冯有良, 邱以刚. 高精度层序地层学在济阳拗陷古近系隐蔽油气藏勘探中的应用[J]. 石油学报, 2003 24(1): 49~52

10 蔡希源, 李思田, 陈开元, 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. 基础理论篇[M]. 北京: 地质出版社, 2003. 45~87

11 薛良清. 湖相盆地中的层序、体系域与隐蔽油气藏[J]. 石油与天然气地质, 2002 23(2): 115~120

12 庞雄奇, 陈冬霞, 李玉龙, 等. 隐蔽油气藏资源潜力预测方法探讨与初步应用[J]. 石油与天然气地质, 2004 25(4): 370~376

13 梁宏斌, 王海潮, 韩春元, 等. 冀中饶阳凹陷留西地区沙三上段辫状河三角洲沉积特征及其含油性[J]. 现代地质, 2005 19(增刊): 59~60

14 王志宏, 柳广第, 金凤鸣, 等. 饶阳凹陷留西地区沙三上段岩性油藏成藏条件研究[J]. 石油天然气学报, 2005 27(5): 551~553

15 操应长, 姜在兴. 陆相断陷湖盆层序地层单元的划分及界面识别标志[J]. 石油大学学报, 1996 20(4): 1~5

16 宋国齐, 卓勤功, 孙莉. 济阳拗陷第三系不整合油气藏运聚成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2008 29(6): 716~720 732

17 晁静. 埕岛油田馆上段高分辨率层序地层分析[J]. 油气地质与采收率, 2009 16(2): 4~7

18 蔡雄飞. 凝缩段的地质意义和作用[J]. 地层学杂志, 1995 19(1): 72~76

19 张大智, 纪友亮, 韩春元, 等. 冀中拗陷饶阳凹陷留西地区古近系沙河街组沙三上亚段沉积相与隐蔽油藏[J]. 古地理学报, 2008 10(6): 274~285

20 金凤鸣, 张瑞锋, 田建章, 等. 冀中拗陷饶阳凹陷留西沙三段岩性油藏勘探思路[J]. 中国石油勘探, 2004(3): 62~66

(编辑 陈喜禄)

(上接第 746 页)

4 祁利祺, 鲍志东, 吴博然, 等. 准噶尔盆地西北缘侏罗系展布与层序地层格架特征[J]. 石油与天然气地质, 2008 29(2): 261~267

5 屈娟, 张文胜, 耿梅. 准噶尔盆地西北缘洪积平原相油气藏的勘探与开发[J]. 新疆石油地质, 2006 27(4): 443~445

6 李嵘. 准噶尔盆地西北缘二叠系储层特征及分类[J]. 石油与天然气地质, 2001 22(1): 78~82

7 赵玉光. 准噶尔盆地西北缘二叠纪沉积岩相模式[J]. 新疆石油地质, 1999 20(5): 397~403

8 曹宏, 姚逢昌, 宋新民, 等. 小拐油田夏子街组冲积扇沉积微相[J]. 石油与天然气地质, 1999 20(1): 62~66

9 雷振宇, 卞德智, 杜社宽, 等. 准噶尔盆地西北缘扇体形成特征及油气分布规律[J]. 石油学报, 2005 26(1): 8~12

10 靖辉, 江洪, 向奎. 准噶尔盆地西缘车排子地区岩性油气藏成藏主控因素[J]. 石油实验地质, 2007 29(4): 377~383

11 刘顺生, 焦养泉, 郎凤江, 等. 准噶尔盆地西北缘露头区克拉玛

依组沉积体系及演化序列分析[J]. 新疆石油地质, 1999 20(6): 485~490

12 李涛, 陆永潮, 陈平, 等. 准噶尔盆地车排子地区下切谷的发现及其油气地质意义[J]. 石油实验地质, 2008 30(4): 363~366

13 牟泽辉, 朱德元, 卿崇文. 准噶尔盆地炭、二叠系沉积相和模式[J]. 新疆石油地质, 1992 13(1): 35~48

14 项华, 张乐. 滦平盆地西瓜园组扇三角洲露头层序特征[J]. 油气地质与采收率, 2007 14(6): 20~22

15 刘延莉, 邱春光, 邓宏文, 等. 冀东南堡凹陷古近系东营组构造对扇三角洲的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 95~101

16 蔚远江, 何登发, 雷振宇, 等. 准噶尔盆地西北缘前陆冲断带二叠纪逆冲断裂活动的沉积响应[J]. 地质学报, 2004 78(5): 612~625

17 王桐, 姜在兴, 张元福, 等. 罗家地区古近系沙河街组水进型扇三角洲沉积特征[J]. 油气地质与采收率, 2008 15(1): 47~49

(编辑 董立)