

辽河西部凹陷欢喜岭地区沙河街组三段 层序地层与沉积相研究

董洁, 陈世悦, 李聪

(中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要: 利用高分辨率层序地层学方法, 结合岩芯、测井和地震资料, 识别辽河西部凹陷欢喜岭地区各级层序界面, 建立地层层序格架, 探讨地层格架下沉积相类型、演化规律以及平面展布, 并就有利沉积相带分布进行了讨论。结果表明: 从钻测井资料看出, 层序界面识别标志主要为岩性和颜色发生突变, 沉积相类型发生突变, 电性特征发生明显变化等; 将欢喜岭地区沙河街组划分为6个三级层序, 12个四级层序; 沙河街组三段发育扇三角洲、湖底扇和湖泊相等沉积相类型, 其中, 上亚段扇三角洲发育, 中亚段广泛发育湖底扇相沉积, 下亚段以深湖、滨浅湖相为主, 斜坡边缘发育扇三角洲沉积; 沙河街组三段中亚段湖底扇相和下亚段扇三角洲相的储集物性最好, 为有利沉积相带。

关键词: 沉积相; 湖底扇; 扇三角洲; 沙河街组三段; 欢喜岭地区; 辽河盆地

中图分类号: TE121.3; P539.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)03-0245-07

Sequence Stratigraphy and Sedimentary Facies in the Third Member of Shahejie Formation of Huanxiling Area in the West Depression, Liaohe Basin

DONG Jie, CHEN Shi-yue, LI Cong

(School of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China)

Abstract With the high resolution sequence stratigraphy and the correlation analysis of cores, logs and seismic data, different orders of stratigraphic sequence interface were identified for the third member of Shahejie Formation of Huanxiling Area in the west depression of Liaohe Basin, the stratigraphic framework was built, the types of sedimentary facies, evolution and distribution of the framework were discussed, and the distribution of favorable sedimentary reservoir was forecasted. The results showed that the recognition marks of stratigraphic sequence interface were the significant changes of lithology, color, type of sedimentary facies and electricity character; Shahejie Formation of Huanxiling Area was divided into 6 three-order strata sequences and 12 four-order strata sequences; fan delta, sublacustrine fan and lacustrine facies were developed in the third member of Shahejie Formation, fan delta was developed in the upper subsection, sublacustrine fan was widely developed in the middle subsection, deep, littoral and shallow lacustrine facies was mainly developed in the lower subsection; reservoir physical properties of sublacustrine fan in the middle subsection of the third member of Shahejie Formation and fan delta in the lower subsection were best, and it was the favorable sedimentary reservoir.

Key words: sedimentary facies; sublacustrine fan; fan delta; the third member of Shahejie Formation; Huanxiling Area; Liaohe Basin

0 引言

层序划分与对比一直是地质学研究的基础之

一, 是进行盆地分析、沉积演化研究的关键。近年来, 层序地层研究在石油勘探方面产生了巨大经济效益, 越来越受到地质学家的重视^[1-6]。辽河西部

收稿日期: 2009-10-24

基金项目: 中国石油天然气股份公司项目(07-01C-01-04)

作者简介: 董洁(1984-)女, 山西运城人, 理学硕士研究生, 从事沉积学及岩相古地理研究, E-mail: dj8418@126.com

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

凹陷油气勘探的首要问题是要解决优质储集砂体分布及有利盖层分布的问题。由于区域内的沉积相研究不够深入,不能有效指导滚动勘探开发。因此,将高分辨率层序地层学与岩芯观察、测井、钻井、分析化验资料相结合,深化辽河西部凹陷欢喜岭地区沙河街组三段(简称“沙三段”)沉积相的研究,以寻找有利目标区带^[7],为辽河盆地岩性地层圈闭的进一步勘探提供依据。

1 区域地质概况

辽河西部凹陷位于渤海裂谷系东北角,北接内蒙地轴,西接燕辽沉降带,东为辽河裂谷中央凸起,南临辽东湾。研究区位于凹陷中南段(图 1),新生代构造以张性断裂为主,兼具走滑和反转特征,沙河街组三期(简称“沙三期”)发育伸展断裂系统^[8-9],不同性质的断层对辽河西部凹陷油藏过程所起作用不同,后期小断层使油藏复杂化^[10],不利于后期开发。沙三段已成为辽河油田深层最具潜力的勘探目标之一,具有可观的油气资源量,并具备油气藏形成的基本条件。笔者主要对沙三段层序地层和沉积相进行探讨。

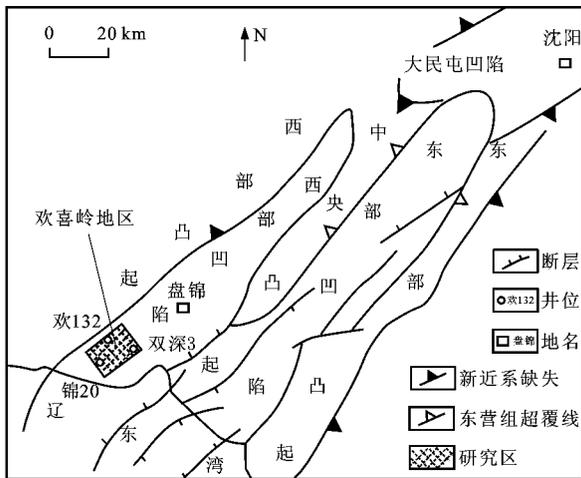


图 1 研究区构造位置

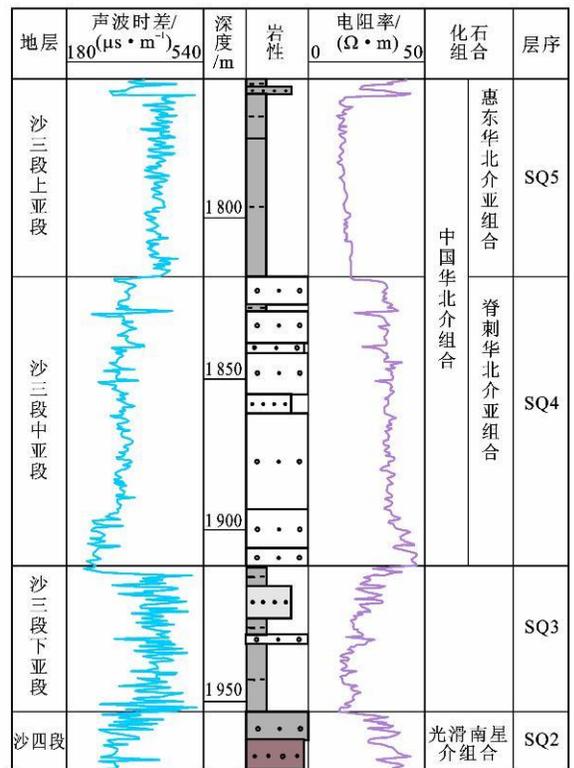
Fig. 1 Tectonic Location of Studied Area

2 高分辨率层序地层划分

2.1 层序界面的识别

层序边界的形成代表了某一时间段在一定地区的沉积间断,上下沉积岩层在岩性、沉积相组合、地震反射特征、电测曲线上会产生一些特殊的响应,是识别层序边界的良好标志,也是划分沉积层序的基础。

从钻测井资料可以看出,层序界面的识别标志主要表现为:①岩性和颜色发生突变,如欢 8 井层序 3(SQ3)之下主要以灰色、灰白色砂砾岩为主, SQ3 则主要为浅灰色泥岩;②沉积相类型发生突变,如欢 8 井 SQ3 之下沉积环境为扇三角洲前缘水下分流河道沉积,而 SQ3 沉积则过渡为湖泊环境;③电性特征发生明显变化,如欢 8 井层序 4(SQ4)之下电阻率值很低, SQ4 则明显增大。另外,古生物是最可靠的年代地层资料,在层序界面处古生物组合会发生明显变化,在微体化石比较丰富的井段,借助典型的古生物组合特征来进行层序界面的识别(图 2)。



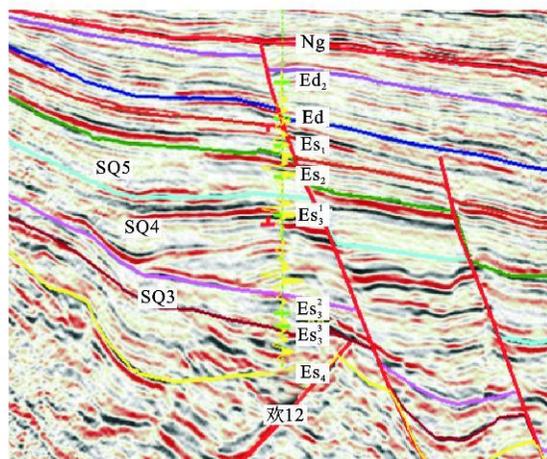
沙四段—沙河街组四段; SQ5—层序 5; SQ2—层序 2

图 2 欢 8 井沙三段层序分析

Fig. 2 Stratigraphic Sequence Analysis of the Third Member of Shahejie Formation in Well Huan 8

结合地震剖面资料(图 3), SQ3 底界面主要表现为削蚀关系,而界面之上表现为上超关系; SQ4 底界面为沙三段中亚段与下伏沙三段下亚段的分界面,在地震剖面上表现为一个强振幅、连续性好的地震反射同相轴,其底界面上、下反射特征不同,界面之下主要表现为视削截关系,界面之上则主要表现为一种上超关系; SQ5 底界面为沙三段上亚段与沙三段中亚段的分界面,剖面上表现为一个较强

振幅、连续性好的地震反射同相轴, SQ5 底界面上、下地震反射特征不同, 界面之下主要表现为平行到视削截关系, 界面之上则主要表现为一种上超关系, 层序界面较明显。



据文献 [11]

图3 地震测线 1174 沙三段地层格架和层序界面标志

Fig.3 Stratigraphic Framework and Recognition Mark of Stratigraphic Sequence Interface for the Third Member of Shahejie Formation in Seismic Line 1174

2.2 层序地层格架的建立

综合岩芯、地震、测井及古生物等资料, 采用高分辨率层序地层学理论^[12-16], 在前人研究成果的基础上^[11, 17-18], 根据凹陷构造演化特征、沉积充填特征和层序界面的识别标志, 在欢喜岭地区沙河街组识别出 5 个具有等时意义的层序界面, 将其划分为 6 个 3 级层序, 12 个 4 级层序(准层序组), 其中 SQ2 相当于沙四段上亚段, SQ3~SQ5 分别与沙三段下、中、上亚段相对应, 层序 6 (SQ6) 相当于沙河街组二段(简称“沙二段”)和沙河街组一段(简称“沙一段”)下部, 层序 7 (SQ7) 相当于沙一段中上部。

SQ3~SQ5 处于强烈断陷期的快速沉降阶段, 主要依靠时频分析技术^[19] 及钻、测井资料建立层序地层格架(图 2、3)。该层序发育巨厚的暗色泥岩或厚层块状砾岩、砂砾岩, 在 SQ3 的顶部高水位体系域有一套油页岩和 SQ4 底部水进体系域的炭质页岩可以作为层序划分的标志。以深湖相沉积为主, 广泛发育湖底扇沉积, 斜坡边部有局部的扇三角洲沉积。

3 沉积相类型及主要特征

根据沉积时古地貌背景、砂体形态、沉积特征

及成因机制, 从岩芯详细观察入手, 综合研究其岩性、沉积构造及沉积序列特征, 应用测井相与无井区结合提取的地震属性, 认为本区主要发育湖底扇沉积体系和扇三角洲沉积体系, 湖泊相较少。

3.1 扇三角洲

扇三角洲主要发育于西斜坡区, 系山地河流出山口后直接进入湖盆浅水区形成的, 几乎全部没入水下扇形砂砾岩体, 周围泥岩的颜色多为绿灰色、灰色和深灰色。该区细砾岩中砾石成分较复杂, 有花岗岩、火山岩、泥岩等, 砾石磨圆度中一差, 分选较差; 砂岩以长石砂岩、岩屑砂岩、岩屑长石砂岩为主, 其单层厚度大, 发育块状层理、递变层理及冲刷构造。在齐家—欢喜岭地区, 由于地处缓坡带以及构造抬升剥蚀, 导致扇三角洲平原亚相极不发育, 扇三角洲前缘亚相在研究区占绝对优势, 主要有厚层状砂砾岩、砾状砂岩、含砾砂岩和细砂岩(图 4)。

3.2 湖底扇

湖底扇主要发育中扇亚相的辫状沟道和沟道间微相。辫状沟道是碎屑流、颗粒流及高密度浊流堆积的主要场所, 以浊流沉积为主, 岩石分选较差, 粒度概率曲线斜率较低, 粒级分布宽, 为 $-1\phi \sim 6.5\phi$ ($\phi = -\log 2D$, D 为粒径), 悬浮总体与跳跃总体之间的交截点多在 1.5ϕ 以下(图 5a), 其 $C-M$ 图点群平行于 $C=M$ 线(图 5b), 反映沉积物下滑速度快, 密度大, 成整体悬浮搬运。岩芯观察中常发现滑塌变形构造、液化砂岩脉、包卷层理和冲刷充填构造等特征, 岩性为灰色、深灰色粉细砂岩、中粗砂岩夹于深湖—半深湖相泥岩之中, 形成砾、砂、泥的下粗上细正韵律沉积(图 6)。辫状沟道微相的测井相单层为中—高幅箱形、齿化箱形到钟形曲线组合, 齿中线内收敛或下倾、平行变到水平、平行, 具突变及加速渐变的顶底, 电阻率曲线为密集的锯齿状中高值。

3.3 湖泊相

研究区内滨浅湖相沉积岩性为浅灰色、灰绿色及暗紫色泥岩, 砂质泥岩夹薄层粉砂岩、细砂岩; 岩芯发育生物化石和生物钻孔; 半深湖相为棕褐色、灰褐色泥岩及灰质泥岩, 与深灰色、灰色泥岩以及灰质泥岩、泥质灰岩间互层, 偶见夹薄层或透镜体状的灰色细砂岩、粉砂岩等。

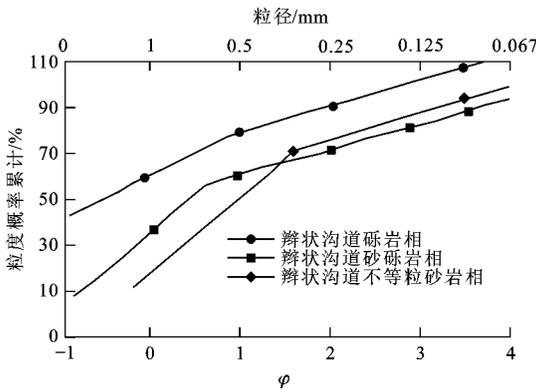
4 沉积相演化规律

从沿物源方向的欢132井至双100连井剖面

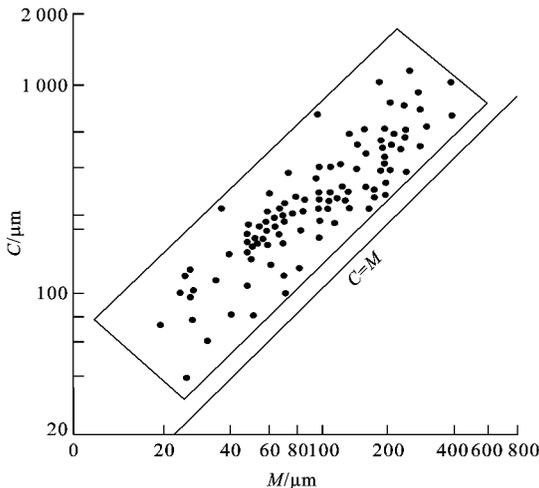
地层		深度/m	岩芯柱	层理	含有物	照片	沉积相		
组	段						微相	亚相	相
沙河街组	沙三段	2 418.8	[岩芯柱示意图]	[层理符号]	[含有物符号]	[照片: 浅灰色泥质粉砂岩中局部富集炭屑]	水下分流河道间	前缘	扇三角洲
		2 420.6					河口坝		
		2 424.6							
		2 428.5					水下分流河道		
		2 432.1							
		2 433.0					水下分流河道间		
		2 436.1							
		2 437.8							

图 4 欢 34 井沙三段扇三角洲沉积

Fig. 4 Fan Delta Sedimentary of the Third Member of Shahejie Formation in Well Huan-34



a 粒度概率曲线



b C-M图

C—累积曲线上 1% 值对应的粒径; M—累积曲线上 50% 处对应的粒径

图 5 辫状沟道微相典型粒度概率曲线和 C-M 图

Fig. 5 Typical Grain Size Probability Cumulative Curve and C-M Chart in Braided Channel Microfacies

(图 7)分析可知, SQ3 在斜坡区砂砾岩体较发育, 主要为扇三角洲前缘水下分流河道沉积; 欢 1 井至欢 33 井, 主要为深灰色、灰色泥岩沉积, 欢 634 井和欢 102 井为灰色细砂岩沉积, 为湖底扇中扇辫状沟道沉积。SQ4 为湖盆最大扩张期, 只有在斜坡边缘的欢 132、619 井有浅水扇三角洲前缘的砂砾岩体沉积; 低位期主要为湖底扇相沉积, 辫状沟道砂体发育范围较广, 在该剖面上自欢古 3 井以下均有分布; 高位期欢 12 井、欢 34 井和欢 33 井一区主要为扇三角洲前缘水下分流河道沉积, 砂体来自于欢喜岭物源区, 洼陷带主要是湖底扇相沉积。SQ5 该期受构造抬升剥蚀, 在斜坡区的欢 132 井至欢 2 井沙三上亚段均被剥蚀, 该时期砂体不发育, 在欢 634 井至双 100 井有灰色砂砾岩及细砂岩沉积, 为湖底扇相辫状沟道及中扇前缘沉积。

沿欢 132 井至双 100 井连井沉积相剖面靠近物源的斜坡区, 扇三角洲前缘水下分流河道砂体很发育, 由于构造及古地貌地形的影响, 扇体前缘砂体滑塌形成湖底扇相砂体。

由顺联络线方向的锦 13 井至齐 62 井连井剖面分析可知(图 8), SQ3 过剖面水体较深, 也主要是湖底扇相中扇辫状沟道沉积, 砂体发育较孤立, 连片性差, 该期砂体主要来自齐家欢和欢喜岭物源区。SQ4 是水体扩张范围最大期, 湖底扇砂体发育, 且连片性好, 砂体厚度也较大, 其物源主要来自西八千和欢喜岭地区。SQ5 也主要是湖底扇砂体发育, 但规模较沙三段中期小, 砂体较孤立。高位

地 层	组 段	取 芯 次 序	深 度 /m	岩 芯 柱	层 理	含 有 物	照 片	沉 积 相		
								微 相	亚 相	相
沙 河 街 组 三 段	沙 三 段 第 一 次	3 122.78				泥岩撕裂屑		沟道间	中 扇	湖 底 扇
		3 125.37			泥岩撕裂屑	沟道				
		3 128.02				沟道间				
		3 130.57				沟道				
		3 133.77				沟道间				
		3 366.25				沟道间				
		3 368.44				沟道间				
	沙 三 段 第 二 次	3 369.74				泥砾		沟道间	中 扇	湖 底 扇
		3 371.88				泥砾		辫状沟道		
		3 375.95				泥岩撕裂屑		沟道间		
		3 380.09				泥岩撕裂屑		辫状沟道		
						泥岩撕裂屑		沟道间		
						泥岩撕裂屑		辫状沟道		
						泥岩撕裂屑		沟道间		

图 6 齐 62 井沙三段湖底扇沉积

Fig. 6 Sublacustrine Fan Sedimentary of the Third Member of Shahejie Formation in Well Qi-62

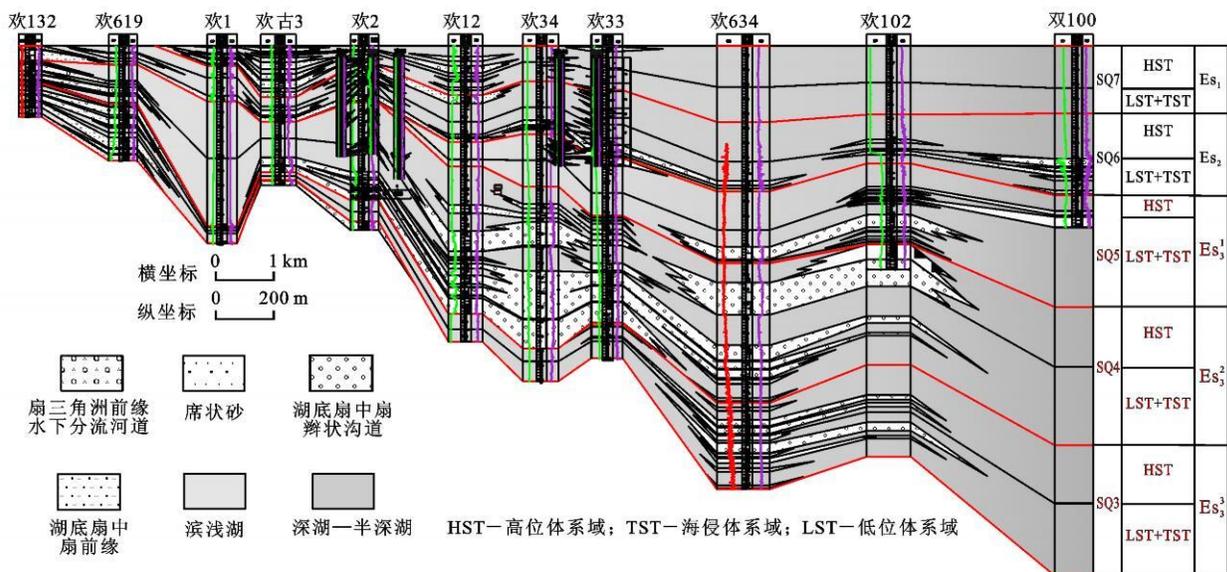


图 7 欢 132 井至双 100 井连井沉积相剖面

Fig. 7 Sedimentary Section of Wells from Huan-132 to Shuang-100

期水体变浅, 扇三角洲砂体进积, 低位、水进期仅在欢 95 井发育扇三角洲水下分流河道砂体, 欢 634 井和欢 19 井发育湖底扇中扇辫状沟道沉积。

整体上, 沿联络线方向的剖面以深水环境为主。扇三角洲前缘砂体在沙三段发育, 但是扇体规模在剖面上显示不是很大, 主要是因为该剖面靠近洼陷区, 离物源区较远。沙三段湖底扇砂体十分发

育, 规模也较大。该剖面从下至上经历了水体由浅变深再变浅的旋回演化。

5 沉积体系平面展布

综合层序地层分析和岩石相、测井相研究, 结合砂岩等厚图及砂岩含量百分比等值线图对辽河西部凹陷沙三段沉积时期沉积环境进行分析。

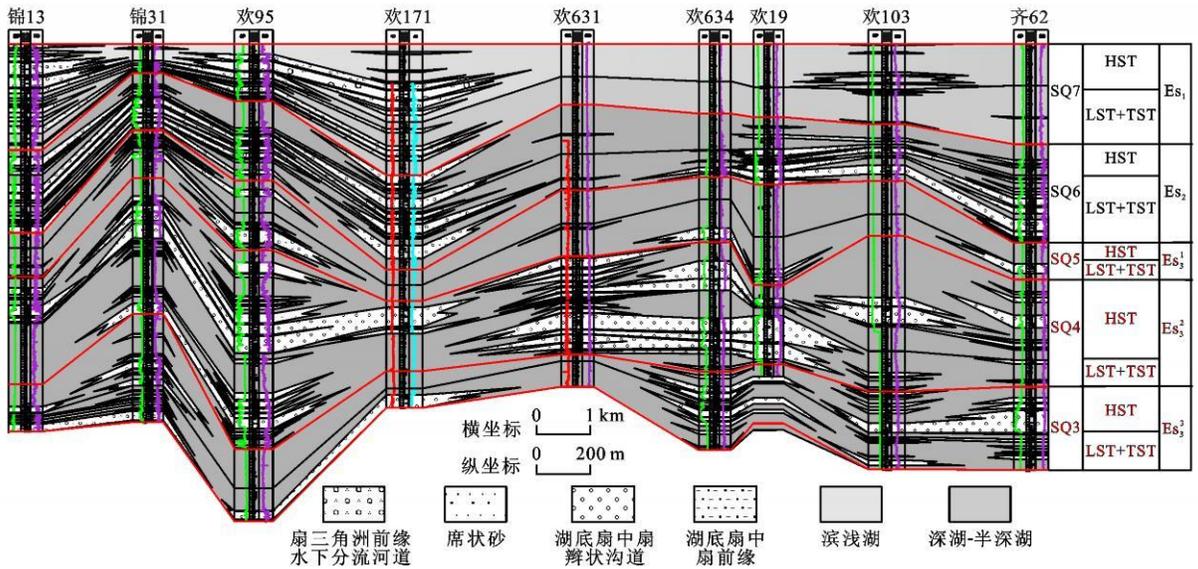


图 8 锦 13 井-齐 62 井连井沉积相剖面

Fig. 8 Sedimentary Section of Wells from Jin-13 to Qi-62

5.1 SQ3 沉积时期

该时期湖盆水体开始加深, 湖侵范围较大, 西斜坡北东向同生断层开始活跃。扇体在靠物源区的西八千和欢喜岭地区发育, 欢喜岭地区在水下分流河道前端有粒度较细的河口坝相沉积。湖底扇相也有发育, 欢 631 井—欢 634 井区的湖底扇砂体主要是由于湖盆深陷期的断层活动, 导致扇体前缘砂体滑塌形成。在西八千地区锦 31 井区, 由于水体加深, 来自西八千的扇体前端滑塌形成浊积扇砂体(图 9a)。整体上该期物源主要来自西八千和欢喜岭地区, 扇三角洲砂体较发育。水体在研究区加深, 范围扩大。湖底扇相砂体发育, 但砂体较为孤立, 且主要为扇三角洲前缘砂体滑塌形成。

5.2 SQ4 沉积时期

该时期是辽河西部凹陷深陷期, 湖盆水域范围最大。来自西八千地区的物源不是很发育, 砂砾岩含量较低, 仅在千 10 井区有小范围分布, 但从地震属性平面图上可以分析出锦 31 井区有砂体发育, 结合该期水域范围较大、水体较深, 推测该区发育湖底扇相砂体。在欢喜岭地区, 砂砾岩厚度达 80% 以上, 而且砂体发育范围也较大。靠近斜坡区欢 616 井区有规模不大的扇三角洲砂体发育, 到欢 12 井区直至往下台阶方向, 由于同生断层作用, 导致扇体前端砂体滑塌形成滑塌浊积扇。该期的浊积扇砂体规模巨大, 向洼陷区一直延伸至双 225 井、双 202 井区, 向北延伸至欢 629 井区, 双深 3 井区的浊积扇砂体规模相对较小。斜坡区来自齐家的

物源在研究区西北角有小范围发育。

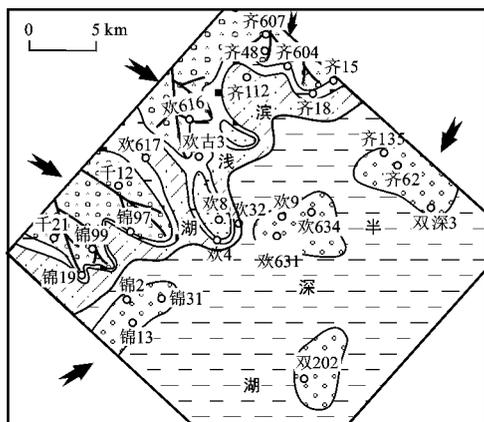
综合分析认为, 该期湖底扇相砂体极为发育, 西八千、欢喜岭、齐家物源对其均有贡献, 尤其以欢喜岭物源区砂体发育规模最大。斜坡区随着水体范围进一步扩大, 扇体也越向物源区退却, 且规模较沙三段下亚段更小。该期沉积相平面展布在鸳鸯沟地区, 由于大部分探井未钻穿, 故其扇体主要靠地震属性分析推测得出(图 9b)。

5.3 SQ5 沉积时期

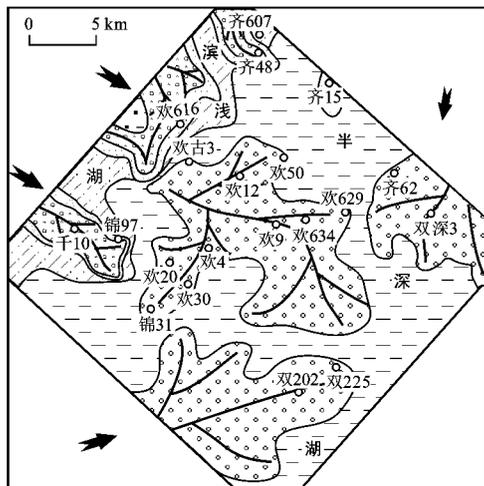
该时期由于构造抬升剥蚀, 导致上台阶大部地层缺失, 从现今地层保存情况来看, 在西八千地区, 主要以扇三角洲相沉积为主, 扇体规模较大, 从锦 31 井一直延伸至欢南 1 井区, 呈东西向展布。在锦 97 井区扇体保留范围较小。来自欢喜岭地区的砂砾岩体在该期不是很发育, 主要分布在欢 617 井区和欢 28 井区, 质量分数较低, 为 20%~40%。在欢 629 井—欢 634 井—欢 102 井区, 主要由来自欢喜岭地区和西八千地区的扇体前缘滑塌形成滑塌浊积性质的湖底扇相齐家物源区, 在齐 10、15 井区都有扇三角洲前缘砂体发育, 但范围局限。齐 62 井—双深 3 井区主要是齐家物源形成的湖底扇相沉积, 在研究区范围内只有小规模分布(图 9c)。

6 有利沉积相带预测及砂体分析

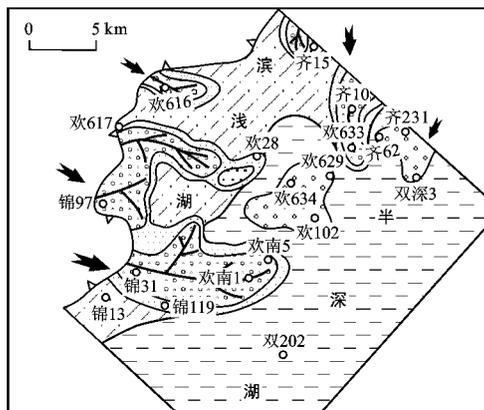
辽河西部凹陷欢喜岭地区沙三段主要发育扇三角洲水下分流河道和湖底扇中扇辫状沟道微相。沙三段缓坡型湖底扇砂体, 是本区最主要的油气储集



a SQ3



b SQ4



c SQ5



图 9 不同层序地层下沙三段沉积相

Fig. 9 Sedimentary Facies of the Third Member of Shahejie Formation in Different Sequence Stratigraphy

体^[20]。在区内分布广,单砂体厚度大,向洼陷区延伸远,纵向上为较厚的砂泥岩互层沉积,在欠补偿沉积

条件下具有原生孔隙保存和次生孔隙发育的地质条件^[21],湖底扇砂体形成的圈闭分布面积大,储集物性好,沟道砂体和沟道前缘的“朵叶体”是深水浊积岩性油藏的“甜点”,容易形成理想的岩性或构造-岩性油气藏,是油气勘探的重要目标。

扇三角洲相砂砾岩含量相对较高,具有近物源和短距离搬运的特点,成分成熟度和结构成熟度都较好,尤其是扇三角洲前缘砂质粒度适中,物性较好,是良好的油气储集体^[22]。另外辽河西部凹陷南部老第三系以浅湖相—湖相暗色泥岩沉积为主,发育有多套烃源岩层,且分布广泛。

7 结语

(1)辽河西部凹陷欢喜岭地区主要发育 3 种沉积相类型,即扇三角洲相、湖底扇相和湖泊相。

(2)该区靠近物源的斜坡带,扇三角洲前缘向洼陷地带水下分流河道砂体很发育,由于构造及古地貌地形的影响,扇体前缘砂体滑塌形成湖底扇相砂体。

(3)查明了辽河西部凹陷欢喜岭地区的沉积体系平面展布特点:沙三段下亚段为低位、水进体系域,沙三段中亚段分为低位、水进体系域和高位体系域两期沉积,沙三段下亚段也分为低位、水进体系域和高位体系域。

(4)研究区南部发育多套烃源岩层,湖底扇中辫状沟道和扇三角洲前缘物性较好,纵向上为厚层砂泥岩互层沉积,组成有利的生储盖组合,为主要的油气储集体。

参考文献:

[1] Cross T A. Quantitative Dynamic Stratigraphy[M] . New Jersey: Prentice Hall, 1990.

[2] Cross T A. Stratigraphic Controls on Reservoir Attributes in Continental Strata[J] . Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 322-350.

[3] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J] . 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97.

[4] 侯维虹, 渠永宏, 张永庆, 等. 通过地层沉积过程进行储集层的精细描述[J] . 石油勘探与开发, 2004, 31(增刊): 106-109.

[5] 田景春, 康建威, 林小兵, 等. 台盆沉积体系及层序地层特征研究[J] . 西南石油大学学报: 自然科学版, 2007, 29(6): 39-42.

[6] 范春花, 王英民, 陈振岩, 等. 陈家洼陷沙三下亚段层序地层和沉积相分析[J] . 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(2): 31-35.

(下转第 256 页)

- [7] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [8] 戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[C] //戴金星. 天然气地质和地球化学论文集(卷二). 北京: 石油工业出版社, 2000: 190-228.
- [9] 宋岩, 徐永昌. 天然气成因类型及其鉴别[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 24-29.
- [10] 宋岩, 陈孟晋, 秦胜飞, 等. 中国天然气地质理论进展[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 8-11.
- [11] Berner U, Faber E. Empirical Carbon Isotope/maturity Relationships for Gases from Algal Kerogens and Terrigenous Organic Matter, Based on Dry, Open-system Pyrolysis[J]. Organic Geochemistry, 1996, 24(10/11): 947-955.
- [12] 侯读杰, 张林晔. 实用油气地球化学图鉴[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [13] 胡惕麟, 戈葆雄, 张义纲, 等. 源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用[J]. 石油实验地质, 1990, 12(4): 375-394.
- [14] Snowden L R, Powell T G. Immature Oil and Condensate; Modification of Hydrocarbon Generation Model for Terrestrial Organic Matter[J]. AAPG Bulletin, 1982, 66(6): 775-788.
- [15] 张义纲, 陈焕疆. 论生物气的生成和聚集[J]. 石油与天然气地质, 1983, 4(2): 160-170.
- [16] 陈英, 戴金星, 戚厚发. 关于生物气研究中几个理论及方法问题的研究[J]. 石油实验地质, 1994, 16(3): 209-219.
- [17] 薛会, 张金川, 刘丽芳, 等. 天然气机理类型及其分布[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 53-57.
- [18] 戴金星. 中国煤成气研究二十年的重大进展[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(3): 1-10.
- [19] 戴金星, 夏新宇, 秦胜飞, 等. 中国有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 1-6.

(上接第 251 页)

- [7] 李宏伟, 朱怡翔, 李胜利, 等. 辽河西部凹陷北部地区隐蔽油气藏预测与成藏机制分析[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 44-46.
- [8] 于福生, 吉珍姝, 杨雪, 等. 辽河盆地西部凹陷北部地区新生代断裂特征与圈闭类型[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(2): 149-153.
- [9] 张凤奇, 庞雄奇, 冷济高, 等. 辽河西部凹陷构造圈闭含油性定量预测模型[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(2): 27-30.
- [10] 陈金龙, 张庆龙, 于兰兄, 等. 断层对辽河盆地杜 229 断块超稠油成藏与生产的影响[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(3): 48-52.
- [11] 许坤, 潘耀丽, 彭峰. 辽河盆地下第三系层序分析[J]. 地质学杂志, 1997, 21(4): 267-274.
- [12] 沈守文, 彭大钧, 颜其彬, 等. 层序地层学预测隐蔽油气藏的原理和方法[J]. 地球学报, 2000, 21(3): 300-305.
- [13] 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52-57.
- [14] 郝雪峰. 陆相断陷盆地层序地层与成藏单元类比分析——以济阳拗陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(2): 16-18.
- [15] 邱桂强. 陆相断陷盆地高精度层序地层研究现状与思路[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(3): 1-4.
- [16] 樊太亮, 李卫东. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 12-17.
- [17] 廖兴明, 姚继峰, 于天庆, 等. 辽河盆地构造演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [18] 高先志, 李敬生, 李晓光, 等. 辽河西部凹陷兴隆台—马圈子地区沙三段层序地层研究[C] //匡立春, 顾家裕, 吕焕通, 等. 油气层序地层学新进展. 北京: 石油工业出版社, 2006: 68-69.
- [19] 袁波, 陈世悦, 袁文芳, 等. 辽西凹陷欢喜岭地区沙河街组层序格架的建立[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2008, 30(2): 27-30.
- [20] 李德江, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 辽东湾拗陷古近系沙河街组层序地层分析[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 669-676.
- [21] 鞠俊成, 张凤莲, 喻国凡, 等. 辽河盆地西部凹陷南部沙三段储层沉积特征及含油气性分析[J]. 古地理学报, 2001, 3(1): 63-70.
- [22] 林会喜, 鄢继华, 袁文芳, 等. 渤海湾盆地东营凹陷古近系沙河街组三段沉积相类型及平面分布特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 55-61.