

渤海复杂断块油藏油水界面差异成因探讨分析

——以辽中凹陷W油田7井区为例

郑华,李云鹏,陈建波,程大勇,宋洪亮

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院,天津 300459)

摘要:经典油气成藏理论认为,油气总是聚集在圈闭的高部位,而油田实际勘探开发过程中,油水界面差异现象时有发生。渤海W油田位于渤海辽中凹陷中段的凹中反转带上,属于复杂断块油藏,针对该油田走滑转换带中部署的开发井,围绕该井钻后出现的高部位未钻遇到油层而出现油水界面差异现象的成因进行了分析研究,在进行小层划分与对比基础上,重点从构造、成藏及储层三个方面进行原因分析论证,认为油水界面差异是由于油气溢散成藏条件不佳以及砂体叠置不连通所造成,并且根据砂体刻画追踪及沉积规律研究,认为该井区东三段表现为退积现象,东二段表现为进积现象。经统计,东二段砂地比高于东三段,东三段泥岩较发育,纵向封隔性相比较较好,而进积和退积模式对应着不同砂体的叠置关系,从而形成了油水界面差异现象。

关键词:渤海;复杂断块;走滑转换带;油水界面差异;砂体叠置

中图分类号:TE347

文献标识码:A

Analysis and discussion on cause of OWC differentiation of complex faulted reservoir in Bohai area: A case study of well block 7 in W oilfield of Liaozhong sag

Zheng Hua, Li Yunpeng, Chen Jianbo, Chen Dayong and Song Hongliang

(Bohai Oil Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC (China) Co., Ltd., Tianjin 300459, China)

Abstract: According to the classical theories of the oil and gas accumulation, oil and gas are always gathering in the trap of high position. However, the phenomenon of OWC differentiation occurs occasionally during the actual exploration and development of the oil field. W oilfield located in the concave inversion zone of the middle section in Liaozhong sag of Bohai Sea is a complex fault block reservoir. For the developed wells in the strike slip zone of the oilfield, we analyze the causes of the OWC differentiation. On the basis of the stratification and contrast, the reasons are mainly from the aspects of structure, accumulation and reservoir. It shows that OWC differentiation is due to the poor accumulation condition and sand body superimposition. According to the research on tracking of sand body and deposition characterization, it is considered that Dong-3 segment of this area shows the retrogradation phenomena, while the Dong-2 segment shows the progradation phenomenon. Besides, the Dong-2 segment's sand strata ratio is higher than that of Dong-3 segment. The mudstone of Dong-3 segment is relatively developed with good longitudinal plugging. Meanwhile, the progradation and retrogradation patterns are corresponding to the superposition relation of different sandbody. Then, a difference in oil-water interface appeared.

Key words: Bohai, complex faulted block, strike slip zone, OWC differentiation, sandbody superimposition

1 区域地质概况

经典油气成藏理论认为,受重力分异作用的控

制,油气总是聚集在圈闭的高部位,而实际油水界面差异现象时有发生,以渤海辽中凹陷W油田为例,该油田位于辽中凹陷中段的凹中反转带上,被郯庐走滑断裂的辽中1号大断层分为东、西两块。受断层影

收稿日期:2018-01-15。

第一作者简介:郑华(1986—),男,工程师,油气田储层评价方面的研究。

基金项目:国家科技重大专项“渤海海域大中型油气田地质特征”(2011ZX05023-006-002)。

响,4、7井区为走滑断裂模式下形成的中间转换带复杂性断块(图1)。研究区物源来自于东部的复州水系,在油田范围内也存在其它局部物源。储层岩性以中砂岩和细砂岩为主,油田7井区主要目的层位为东二段和东三段,东二段为三角洲前缘沉积,东三段主要为辫状河三角洲沉积,属于中高孔、高渗储层,油藏类型属于具有多套油水系统的层状构造油藏,地层原油黏度为50.9~323 mPa·s。

鉴于W-7井整体东营组储层较发育,储层厚度约为370 m(油层37.7 m),7井区属于优质储量块,通过推荐以优带差,以动用带潜力,整体对7井区2号潜力区块部署了一口开发井A28先行进行评价,若理想,则利用落实的构造、储层和流体系统来指导评价4井区开发,若不理想,则侧钻至7井附近,可为后续潜力落实及开发奠定良好的基础。

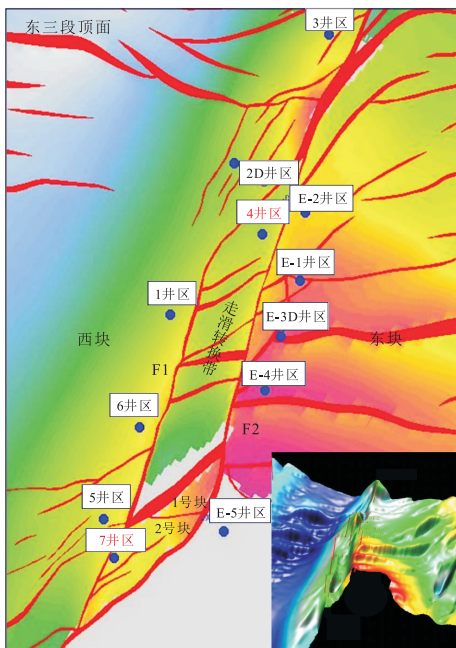


图1 W油田井区分布

Fig. 1 Well area distribution map of W oilfield

2 油水分布特征

渤海辽东湾W油田纵向上和平面上存在多套油、气、水系统,试油和试采结果均显示了W油田西块东营组和东块沙河街组的油气在平面和纵向上分布均一。以西块东营组为研究区,平面上,构造高部位区域为油层而低部位区域为水层;纵向上,油气主要赋存于东二段、东三段,属正常油水分布型油藏,

只有极个别砂体存在油水界面不一致的情况,但差距均在5 m以内。而在实际开发过程中,A28井钻后目的层东三段I上油组顶面海拔-1 369 m,比7井高出66 m,并且随钻录井结果揭示该井在东营组钻遇的210.6 m储层均无荧光显示,测井解释东营组储层均为水层。基于全油田开发过程中并未出现过油水倒置现象,因此对于7井区在东营组高部位未钻遇油层而低部位出现油层的现象,亟待需要开展油水界面差异原因剖析研究,为后续开发奠定坚实的地质基础。

3 油水界面差异成因探讨

影响油水界面差异的成因有很多,在复杂断块油藏或岩性油藏中,控制油水分布的因素决定了油水分布的复杂性和多样性^[1-11]。就渤海油田而言,导致油水界面差异现象的原因主要归结于三种:构造因素、成藏因素和储层因素。因此,针对这三大类影响因素开展分析研究,排查筛选出主控因素,可为油水界面差异成因的分析研究奠定坚实的基础。然而,在此之前,地层划分是否准确是开展下步工作的重要基础,因此需要确定小层划分与对比的准确性,从而为后续的研究工作提供基础保障。

3.1 井间对比的合理性

建立等时地层格架是进行油田储层沉积特征研究的前提和基础。依据层序地层学原理,对目的层段进行等时地层对比划分,在此基础上开展下一步成因分析研究,进而在等时格架下有效地避免了穿时现象,确保研究结论的可靠性。

在探井的地层划分基础上,依据“旋回对比、分级控制”的原则,根据岩性、电性及含油气性特征,结合地层厚度、砂层发育程度以及油、水分布规律,建立对比剖面,同时结合地质分层结果与地震资料,实现地震地质统一,达到全区分层一致。

旋回对比关键是确定对比标志层。根据地层划分的精度要求,标志层一般为区域性稳定沉积或间断面,如区域不整合面、构造沉降或湖侵形成的稳定泥岩沉积或在油田范围内相对稳定的、可追踪的沉积砂体。依据W油田沉积旋回特点,确定了两个标志层及一个辅助标志层:馆陶组底砾岩作为标志层,该标志层在全区发育,主要为厚层砾岩,测井响应表

现为低伽马、高电位、高密度特征,地震响应为中高频连续的“双轨”特征;东二段底部稳定岩性段标志层,在油田范围内分布稳定,易于对比,为稳定泥岩沉积,测井响应表现为高伽马、低电阻、高密度特征;东三段中部泥岩段测井响应表现为高伽马、低电阻、高密度特征,在油田范围内局部分布稳定,为东三段中部的辅助标志层。

依据“旋回对比、分级控制”的原则,以测井资料为基础,根据砂层发育情况,结合流体分布特征,以东二段底部及东三段内部稳定泥岩段作为对比标志,充分考虑沉积旋回性、含油性特征等,将东二段地层从上至下划分为:I、II、III上、III下、IV上、IV下油组,东三段地层从上至下划分为:I上、I中、I下油组(图2)。每个油组对应一个中期旋回,少数对应复合旋回。

综合利用岩性组合样式、测井曲线特征,结合地层的地震反射特征,根据等时地层格架建立原理,首先得出W-7井东二段划分为2个长期旋回(对应一个典型的正旋回和一个典型的反旋回)和6个短期旋回,东三段划分为2个长期旋回和5个中期旋回。由于A28井自身钻遇有三条断层,部分东营组地层厚度缺失,通过7井及A28井对比情况来看,油组划分旋回对比关系较好,结合井震结合—层位标定(图3)

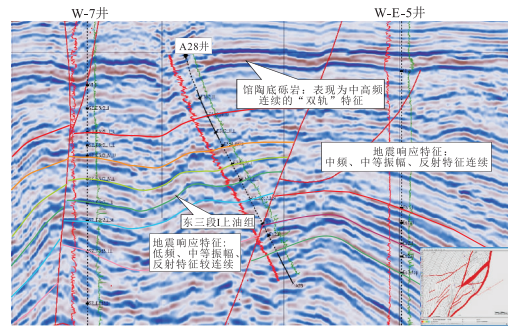


图3 W油田研究区井震结合—层位标定

Fig. 3 Well-seismic combination and horizon calibration diagram in research area of W oilfield

也进一步验证了地层划分对比的准确性,因此,针对7井区高部位A28井未钻遇油层情况,亟待需要开展对该井区油水界面差异成因方面的研究。

3.2 构造因素分析

结合过井剖面分析,一方面,A28井钻后构造认识与钻前开发设计方案认识基本一致,整体井区为受走滑断层夹持的小断块,呈现中间低、两侧高的特征,A28井构造位置高于7井,东三段I上油组顶部构造较7井高出66 m,并且从地震剖面来看,A28井地震相与7井地震相较接近,中间无明显断层存在。另一方面,断层是否落实也需要进一步核实,在此需要

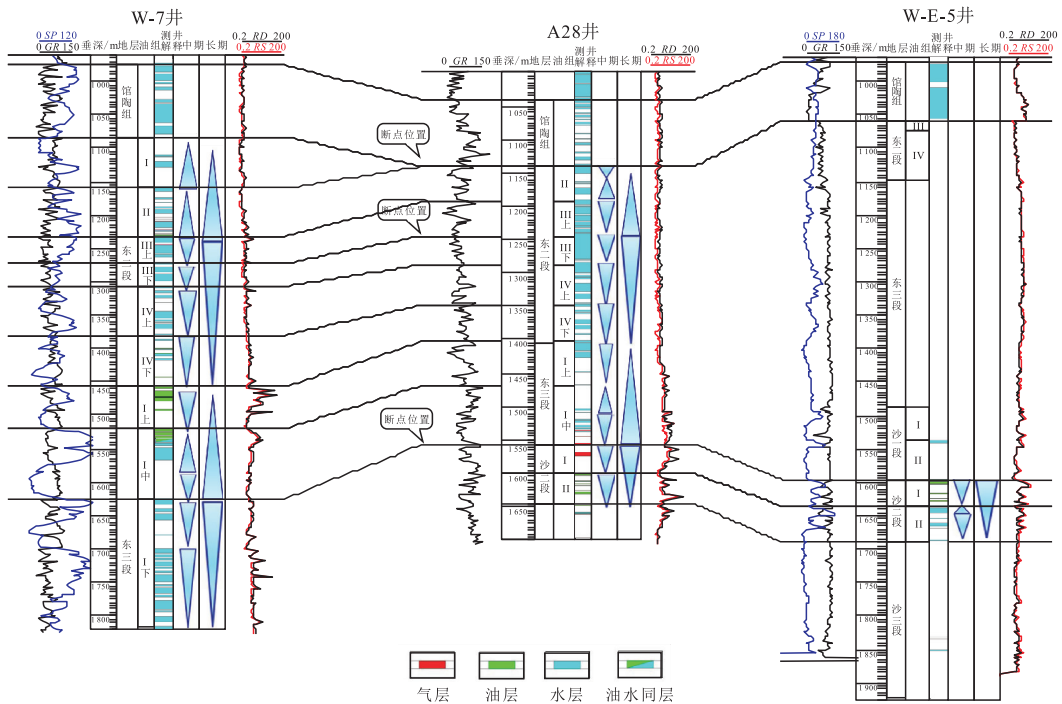


图2 W油田研究区油组划分对比

Fig. 2 Oil field division and correlation of research area in W oilfield

对7井区断块内中部断层北东向延伸的延伸范围及方向开展分析研究。

从7井区中部处沿主测线方向过井剖面(图4)来看,层位存在明显错动,说明该断层存在,然而从末端外主测线方向来看,未见有层位错动,因此该断层并未向北东方向延伸,7井和A28井处于一个断块区内,基于以上两方面的判断,认为构造因素并不是导致油水界面差异的主要原因。

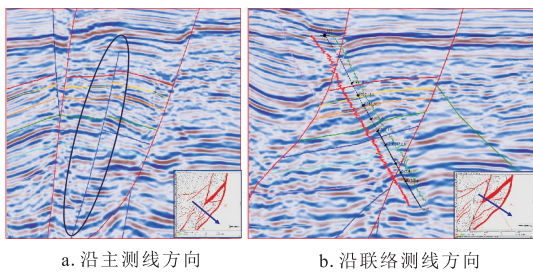


图4 走滑转换带7井区过井剖面示意

Fig. 4 Cross section of well block-7 in strike slip transition zone

3.3 成藏因素分析

在考虑成藏因素分析时,由于一方面走滑转换带东西两块通过油气运移至走滑断裂两侧富集,并且依附于走滑断裂两侧低部位有油的地方高部位均有成藏,因此,从A28井的实钻情况来看,违背了W油田整体油气分布规律。另一方面,从实际大量文献调研中发现了与7井区油水界面差异现象相类似

的实例,准噶尔盆地夏9井区八道湾组油藏构造高部位区域为水层而低部位区域为油层,该油藏构造简单,高部位水层连续分布,夹层水欠发育,油水倒置特征清楚,属油水倒置型油藏,考虑区内无断层分布,不存在上倾方向的构造遮挡,而重点从成岩遮挡方面进行分析研究,认为造成油水倒置及油气不均一性分布的重要原因,是自南西向北东方向高部位碳酸盐和黏土矿物等胶结物质大量增加,使该区域储层物性变差并形成了成岩遮挡,从而使得油气向北东方向构造高部位运移的毛细管阻力大大增加,以致最终油气运移动力难以克服阻力而停积下来^[12]。本次研究区域,与准格尔盆地夏9井区八道湾组油藏具有类似油水倒置现象,因此,首先从储层物性方面也开展了相对应的成因分析研究。

从以上对比情况来看(表1~表2),位于高部位的A28井处物性较7井好,并且整体7井区物性为:平均孔隙度26.0%,平均渗透率 $815.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,表现为中高孔渗储层。而通过全油田10个井区60余口井资料统计,得出以上全油田东营组储层物性统计表,将7井区东营组物性较全油田相比,可知7井区储层物性处于全油田中等偏上水平,从目前资料来看,这与准葛尔盆地提到的自低部位向高部位储层孔隙度和渗透率均有降低的情况是不一样的,因此可以排除该方面的影响。

然而,通过油田已钻探井发现,走滑断层F1(图1)

表1 W油田7井区东营组物性统计

Table 1 Physical property statistics of Dongying formation in well block-7 of W oilfield

井名	东二段		东三段		平均孔隙度,%	平均渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
	平均孔隙度,%	平均渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	平均孔隙度,%	平均渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$		
7井	27.31	192.73	21.7	192.85	23.89	192.8
A28井	30.16	2 139.99	27.86	929.45	29.73	1 913.12

表2 W油田东营组储层物性统计

Table 2 Physical property statistics of reservoirs in Dongying formation of W oilfield

层位	区块	平均孔隙度,%	平均渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
东二段	西块	南区(5、6、7井区)	29.4
		北区(1、2D、3井区)	26.8
	东块	北区(E-1、E-2、E-3D、E-4井区)	26.6
		南区(5、6、7井区)	27.9
东三段	西块	22.6	
	东块	北区(1、2D、3井区)	22.0
		北区(E-1、E-2、E-3D、E-4井区)	22.0

两侧均有井钻遇到油层,F2断层仅西侧钻遇到油层,另一侧通过过路井钻遇情况来看,仅有部分有录井显示,并且测井解释均为水层,说明在该侧有油气过路井出现油气溢散,从走滑转换带内部来看,靠近F1断层较F2断层更具备成藏条件,导致临近F1断层的7井钻遇油层而临近F2断层的A28井仅钻遇水层。

因此,在构造、成藏分析研究基础上,有必要进一步从储层因素角度来开展油水界面差异成因分析研究。

3.4 储层因素分析

3.4.1 储层特征

钻井和测井资料揭示,该油田5井东营组储层厚度为463.5 m,7井东营组储层厚度为369.3 m,A28井东营组储层厚度为210.6 m,同时结合地震剖面来看,A28井地震相与7井地震相较接近。东营段整体储层厚度有向东减薄的趋势,至东块E-5井区东营组未见有储层,以泥岩沉积为主,整体表现为7井区东营组东二段储层厚度变化较小、东三段储层厚度呈明显减薄的特征。

3.4.2 构造演化特征

辽东湾盆地属于陆相裂谷盆地,构造作用控制着盆地地层充填样式与沉积特点。不同的构造演化阶段,沉积体系的分布和类型是不同的。W油田所在的辽中凹陷沉积发育历程,同样受到区域构造运动及其影响下的沉积环境控制。

在层序和构造研究基础上,结合区域构造—沉积演化特点,对W油田在三维地震工区范围进行了构造—沉积演化分析,建立了构造—沉积演化模式(图5)。该模式主要呈现出东营组为边沉积边走滑的构造演化特征。东三段沉积时期,走滑断层活动变得剧烈,大量伴生断层随之产生。东一、二段沉积时期,走滑断层活动有强有弱,东一段在构造主体部位及东侧遭受严重的剥蚀,地震剖面上见到明显的不整合,东二段与东一段也是不整合接触。从构造演化特征来看,全油田西块各井区在东营组尤其在东三段时期整体表现为构造起伏大,坡度陡的现象,其中5、6、7井区位于沉积中心位置,具有较好的沉积背景,东营组储层厚度也相比其它井区较厚,7井区与5井区临近,东三段依附于断层坡度较陡,构造起

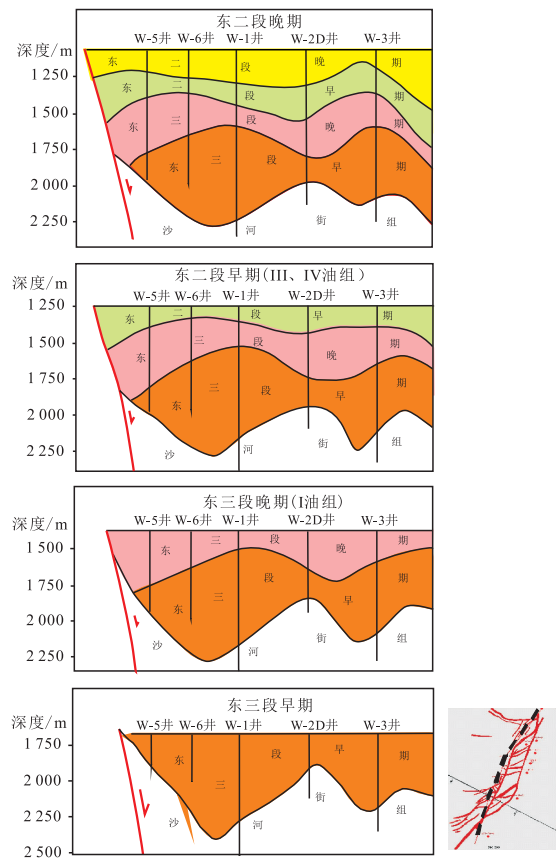


图5 W油田西块构造演化模式

Fig. 5 Tectonic evolution model of west block in W oilfield

伏大,具备有扇三角洲发育的条件,而这种扇三角洲的叠置可能导致砂体的不连通,于是对砂体开展了精细刻画与追踪对比研究。

3.4.3 砂体刻画

考虑到地震解释分辨率为20~30 m,而7井区两口井钻遇单砂层厚度为0.5~39.1 m,平均厚度为5.4 m,有些砂体难以分辨,鉴于该情况,需要建立一套相应砂体刻画标准来对砂体进行追踪对比分析,这里以低伽马、高电位、低密度和低中子为测井曲线砂体划分依据,以油组为单元,通过同组同比、以大代小、井震结合、整体追踪的刻画标准,考虑在井—震结合、层位精细标定的基础上,根据地震波组的反射特征及其连续性,从井点出发来对砂体进行追踪对比。

井上对比情况揭示了IV下和I上主力层发育在顶部,对应在地震剖面来看,地震相反映为蓝轴,地震相不连续,在中部呈现砂体叠置情况,蓝轴主要对应砂体,灰轴对应以泥岩为主,中间夹有薄层砂岩。

同样,对东二段及东三段进行砂体刻画整体追踪对比,其中IV上油组砂体顶底均分布,7井东二段IV下、东三段I上和I中油组砂体均分布在油组顶部,从追踪对比结果来看,有明显砂体叠置不连通现象(图6)。因此在储层分析研究中,认为砂体叠置不连通是引起油水界面差异现象的影响因素。

在研究过程中,进积或退积现象在测井响应上反映了沉积序列特点,可以体现旋回韵律变化情况,此外,在地震反射剖面上有时也能够体现出砂体的堆积方向。进积为沉积中心和沉积相带逐步由盆地

边缘向盆地内部迁移过程中,以侧向为主的沉积物堆积作用,其特点是地层柱的岩性自下而上变粗或岩相变浅,并形成向盆地原始倾斜的反S或陡斜型退覆沉积层,表现为沉积物前进,水平面下降,反映其砂体具有向上变粗的反韵律序列。而退积则相反,表现为水进,水平面上升,反映其砂体具有向上变细的正韵律序列。

结合7井区东二段及东三段砂体叠置样式,东三段表现为水体逐渐变深,反映为退积,东二段水体逐渐变浅,反映为进积现象,据此得出了7井区砂层组的对比模式(图7)。而经统计,7井区东二段砂地比在48.0%~84.4%,东三段为17.2%~38.0%,相比较而言,东二段较东三段砂地比要高,东三段泥岩较发育,纵向封隔性相比较较好,进积和退积模式对应着不同砂体的叠置关系,从而导致了油水界面差异现象。

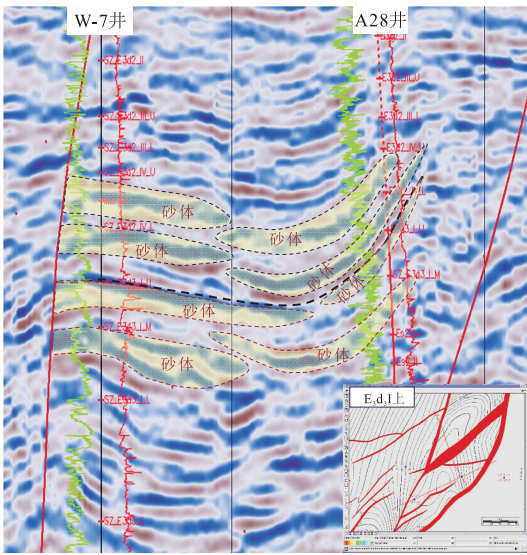


图6 W油田过7井、A28井砂体刻画示意
Fig. 6 Sand bodies between well-7 and well-A28 in W oilfield

4 结论与认识

围绕走滑转换带7井区A28井钻后出现油水界面差异现象,在小层划分与对比研究基础上开展了成因分析,得到的主要结论如下:

1) 通过对构造、成藏、储层等方面多角度进行分析,逐步排查,筛选出影响油水分布规律的因素,认为储层砂体叠置不连通是引起7井区油水界面差异现象的主要原因,并且结合成藏分析来看,油气过路溢散也造成了该井区前期成藏条件不佳,高部位

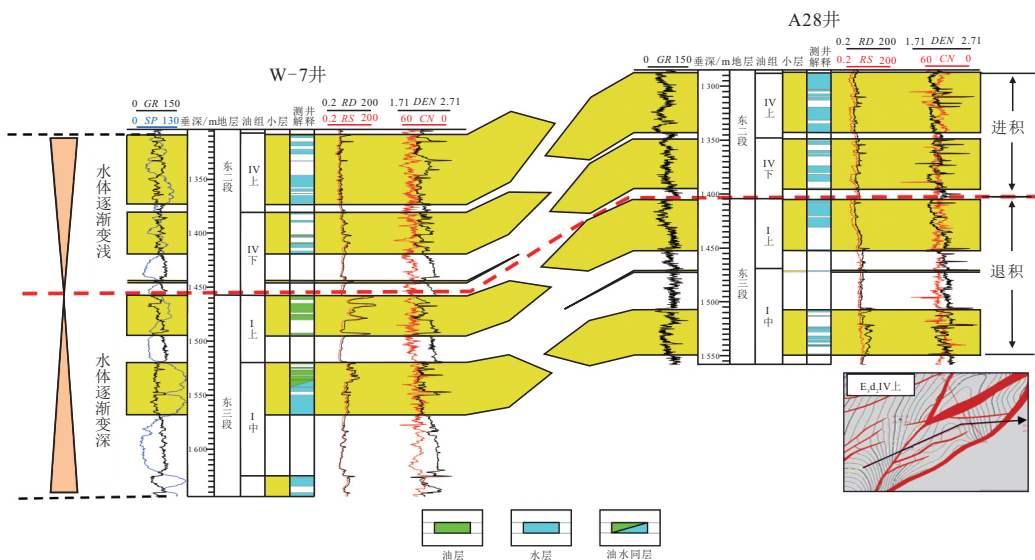


图7 W油田7井区砂层组对比模式
Fig. 7 Comparison model of sand group in well block-7 of W oilfield

(下转第41页)