

三角洲前缘有利沉积相带储层非均质性及成因认识

吴磊磊¹, 刘洪军², 张小东¹, 张 鹏³, 李 秀¹

(1. 延长油田股份有限公司靖边采油厂, 陕西 靖边, 718500; 2. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065;

3. 中国石油测井有限公司华北分公司 河北 任丘, 062550)

摘要:储层非均质性是影响油气分布和后期挖掘剩余油的重要因素之一。综合利用测录井、岩心等资料, 分析靖边油田新城区三角洲前缘有利沉积相带储层非均质变化规律及其影响因素。结果表明: 长6段储层非均质主要表现为单砂体非均质和砂体结构非均质。单砂体非均质主要有正韵律和反韵律非均质, 对应于水下分流河道和河口坝沉积微相; 砂体结构非均质分为块状叠合箱型、叠合箱型、叠合椭圆型、叠合漏斗型等四种类型。砂体结构影响着油水分布, 油藏主体以复合叠置砂体结构为主, 边部为孤立性砂体, 纵向上块状叠合箱型和叠合椭圆型含油性最好。储层非均质性的主要影响因素为沉积微相、成岩作用、基准面升降和构造作用。沉积作用导致砂体叠置样式和碎屑颗粒差异形成了复合砂体内部非均质性; 成岩作用是引起单砂体内部非均质的主要原因; 构造裂缝主要起渗流通道作用, 增强了局部导流能力, 使储层非均质性更加复杂; 基准面旋回影响砂体叠置样式, 进而影响储层垂向非均质性。储层非均质性研究可为油田合理开发提供参考建议。

关键词:三角洲前缘; 储层非均质性; 砂体结构; 基准面旋回; 靖边油田

中图分类号: TE132 **文献标志码:** A

Understanding of reservoir heterogeneity and genesis of favorable sedimentary facies belt at delta front

WU Leilei¹, LIU Hongjun², ZHANG Xiaodong¹, ZHANG Peng³, LI Xiu¹

(1. Jingbian Oilfield, Yanchang Petroleum Co. Ltd., Jingbian 718500, China; 2. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China; 3. Huabei Division, China Petroleum Logging Co. Ltd., Renqiu 062550, China)

Abstract: Reservoir heterogeneity is one of the important factors affecting the distribution of oil and gas and the excavation of remaining oil in the late stage. By comprehensive use of well logging and core data, this paper analyzes the variation of reservoir heterogeneity and its influencing factors in the favorable sedimentary facies belt at the delta front in the Xincheng District of Jingbian Oilfield. The results show that the reservoir heterogeneity of Chang 6 member is mainly characterized by single sand-body heterogeneity and heterogeneity of sand-body structure. The single sand-body heterogeneity mainly includes positive rhythm and anti-rhythm heterogeneity, corresponding to the sedimentary microfacies of underwater distributary channels and estuarine dams. The structural heterogeneity of the sand-body can be divided into four types: massive superimposed box, superimposed box, superimposed oval, and superimposed funnel. The structure of the sand-body affects the distribution of oil and water. The main body of the reservoir is dominated by the composite superimposed sand body, with the isolated sand body at the edge. The block superimposed box type and superimposed oval type are the best oil content in the longitudinal direction. The main influencing factors of reservoir heterogeneity are sedimentary microfacies, diagenesis, base-level rise and fall, and tectonism. The inhomogeneity of the composite sand-body is formed by the difference between the superimposed pattern and the clastic particles caused by sedimentation. Diagenesis is the main cause of the internal inhomogeneity of the single sand-body. Structural fractures mainly act as seepage channels, which enhance the local conductivity, and make the reservoir heterogeneity more complicated. The base level cycle affects the superposition pattern of sand bodies, which in turn affects the vertical heterogeneity of the reservoir. The study of reservoir heterogeneity can provide references for the reasonable development of oilfield.

Key words: delta front; reservoir heterogeneity; sand-body structure; base level cycle; Jingbian Oilfield

收稿日期: 2023-01-04; 改回日期: 2023-07-10。

第一作者简介: 吴磊磊(1987—), 工程师, 从事油田勘探开发工作, E-mail: 275505519@qq.com。

基金项目: 延长油田股份有限公司科技攻关项目“延长油田西部致密油成藏控制因素及富集规律研究”(YT1115SFW0069), 陕西省教育厅重点科学研究计划项目“湖盆深水砂岩中泥/钙质隔夹层对致密油成藏控制机理研究—以鄂尔多斯盆地长6段为例”(20JS126)。

引用格式:吴磊磊,刘洪军,张小东,等.三角洲前缘有利沉积相带储层非均质性及成因认识[J].复杂油气藏,2023,16(3):248-255.
WU Leilei,LIU Hongjun,ZHANG Xiaodong,et al.Understanding of reservoir heterogeneity and genesis of favorable sedimentary facies belt at delta front[J].Complex Hydrocarbon Reservoirs,2023,16(3):248-255.

受沉积环境、成岩作用和构造作用影响,储层内部各种属性在空间存在不均匀变化^[1]。这种不均匀变化具体地表现在储层岩性、物性、含油性及微观孔隙结构等内部属性特征和储层空间分布等方面的不均一性。作为影响地下油、气、水运动和分布、油气采收率的重要因素,储层非均质性研究一直是油气勘探领域的热点内容^[2]。前人对致密砂岩储层非均质性方面做了较多研究,主要侧重层内、层间、平面和微观非均质性特征及其对含油气的的影响方面^[3-6]。本文主要从单砂体和砂体结构等方面讨论储层非均质性分布规律,并分析其影响因素。

鄂尔多斯盆地靖边油田新城区长6段油气藏为致密砂岩油气藏,油气储量大。长6段储层属于三角洲前缘沉积,因沉积环境与水动力复杂,造成储集层不同成因砂体频繁叠置,砂体连续性较差,砂体内部非均质性较强,相邻井区储层物性差异较大,含油性存在明显差异,且砂体内部也存在油气分布不均一现象,纵向上差异较大,最终导致油气勘探开发不理想。因此对长6段储层非均质性的变化规律及成因进行研究,能够为后期油田合理开发提供参考方案。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地是一个整体沉降、拗陷迁移的大型克拉通盆地。现今构造单元自西向东为西缘冲断构造带、天环拗陷、伊陕斜坡、晋西挠褶带和北部伊盟隆起、南部渭北隆起,共构成六个一级构造单元^[7]。整体上盆地内部伊陕斜坡构造相对简单,呈西倾单斜特征,局部仅发育幅度较小的鼻状隆起。研究区位于伊陕斜坡中部靖边油田南部(图1a)。

鄂尔多斯盆地三叠系延长组是重要的含油层系,其垂向上具有多套含油组合。根据沉积旋回和油层分布规律,延长组自上而下划分为十个油层组,即长1—长10(图1b),在沉积演化过程中,湖盆经历了多期次湖水进退,长7期是湖盆深陷扩张期,沉积了一套以暗色泥岩及油页岩为主、厚度可达100 m的烃源岩地层^[8]。长6段是紧邻长7段后基准面下降期形成的三角洲前积沉积,尤其在盆地西北物源发育多套三角洲沉积体系,从而形成了大面积叠置分布的砂体,成为油气聚集的物质基础,油气具有近源成藏特征,因此油气主要富集在长7段烃源岩层上下地层长6段和长8段中。

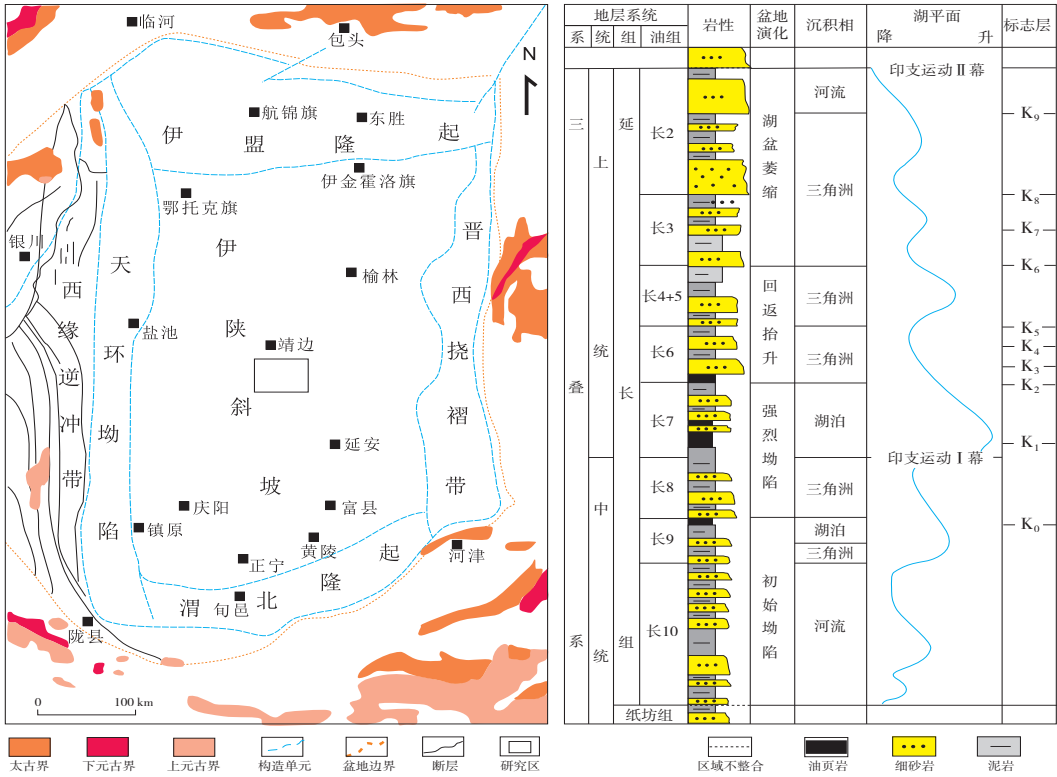


图1 研究区位置与延长组地层综合柱

研究区长6油层组厚度在120~130 m之间,埋藏深度1 650~2 000 m,自上而下划分为长6₁、长6₂、长6₃和长6₄砂层组。延长组长6段具有“深水”三角洲沉积特征,储层砂岩类型为长石砂岩,岩石粒径比较细,一般为细砂岩,颗粒分选中等,次棱一次圆状,颗粒间呈点-线接触。胶结类型以孔隙-薄膜型为主,填隙物平均含量为15.0%,其胶结物类型主要为绿泥石、浊沸石、碳酸盐、硅质。根据研究区物性分析,孔隙度范围7.62%~15.9%,平均孔隙度10.8%;渗透率分布范围(0.09~1.68)×10⁻³ μm²,平均渗透率0.47×10⁻³ μm²,储层属于致密储层^[9-10]。

2 储层非均质变化规律

2.1 单砂体内非均质性

单砂体内非均质性指垂向上粒度韵律、层理构造、层内夹层呈现出非均匀分布特征^[11]。这些非均质性影响早期油气充注,造成油气在垂向上分布不均匀;在注水开发后,韵律性影响流体波及程度和水窜,层理构造影响渗流各向异性,层内夹层影响注采方式与油水界面分布,因此单砂体内非均质是储层表征的重点。靖边油田新城区长6段为三角洲前缘沉积,主要发育水下分流河道、水下天然堤、分流间湾、河口坝及远砂坝五类微相。其中有利沉积微相为水下分流河道、河口坝,不同沉积微相非均质性具有差异性。

水下分流河道沉积微相形成的单砂体主要由细砂岩组成,底部见冲刷面,厚度一般5~8 m,垂向上显示正韵律特征,自然伽马(GR)、自然电位(SP)曲线为中高幅钟型、箱型;层理构造主要为槽状交错层理、块状层理;孔隙度一般7%~15%,平均为11.5%,渗透率(0.1~1.6)×10⁻³ μm²,平均为0.52×10⁻³ μm²,内部物性相对均一,不含夹层,在砂体顶、底偶尔发育致密层,物性差。砂体整体含油性较好,顶底含油性差(图2a)。

河口坝沉积微相形成的单砂体主要由细砂岩组成,厚度一般3~5 m,垂向上显示反韵律特征,GR、SP曲线为中高幅漏斗型;砂体层理构造主要为块状层理、斜层理、波状层理;孔隙度一般6%~12%,平均为10.5%,渗透率(0.1~0.8)×10⁻³ μm²,平均为0.42×10⁻³ μm²,内部物性相对均一,不含夹层,在砂体底部偶尔发育致密层,物性变差,含油性自下到上变好(图2b)。

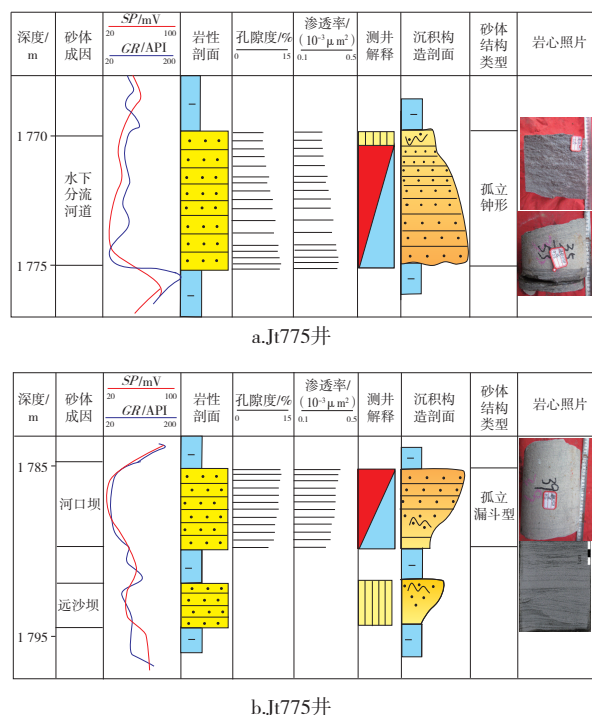


图2 三角洲前缘有利沉积微相非均质性

2.2 砂体结构非均质性

砂体结构是指砂体内部碎屑组分、沉积结构、构造等特征在垂向上的变化样式,是沉积环境的响应,不同沉积微相组合形成特定砂体结构类型。垂向微相组合是造成砂体结构内部差异的主要原因。根据岩心观察、结合测井曲线对沉积微相精细分析,总结出长6段三角洲前缘4种砂体结构类型:①块状叠合箱型、②叠合箱型、③叠合椭圆型、④叠合漏斗型(图3)。侧向上砂体结构呈孤立和拼接等类型。在油气主力产层以堆叠和侧叠接触为主,非主力层主要以河道砂体与溢岸砂体拼接、孤立状河道砂体为主^[12]。复合砂体内部不同相类型叠置形成砂体结构,造成砂体连通性差异,这为平面上均衡注水、纵向上精细分层注水提供了地质依据。

块状叠合箱型砂体结构显示厚层块状砂体特征,垂向上由多个正韵律旋回组成复合韵律。GR、SP曲线为中—高幅微齿化箱形,底部具有冲刷面,砂体厚度一般大于15 m。此砂体结构为多期水下分流河道切割叠加。储层整体显示层厚,物性分布均匀,含油性好,不发育夹层,致密层主要发育在砂体顶、底两端,是研究区优质储层(图3a)。平面上分布在复合河道中部。

叠合箱型砂体结构显示中厚层特征,垂向上由多个正韵律旋回组成复合正韵律。GR、SP曲线为中—高幅微齿化箱型,底部具有冲刷面,砂体厚度

一般大于10 m。此砂体结构为多期水下分流河道叠加。储层厚度中等,物性分布不均匀,夹层分布在砂体中部,致密层分布在砂体顶部和底部。油层被夹层分割呈多层状,是研究区次级优质储层(图3b)。平面上分布在复合河道边部。

叠合椭圆型砂体结构显示中厚层特征,垂向上由多个正韵律和反韵律组成复合正反韵律。GR、SP曲线为中—高幅椭圆型,砂体厚度一般大于10 m。此砂体结构成因为水下分流河道和河口坝叠加。

储层厚度中等,物性分布较均匀,砂体内部较少发育夹层,含油性较好,致密层主要发育在砂体底部,是研究区优质储层(图3c)。

叠合漏斗型砂体结构显示厚层特征,垂向上由多个反韵律旋回组成复合反韵律。GR、SP曲线为中—高幅漏斗型,顶部具有冲刷面,砂体厚度一般大于15 m。此砂体结构为多期河口坝叠加。储层厚度大,物性分布不均匀,砂体内部发育夹层,致密层主要发育在砂体底部,是研究区次优质储层(图3d)。

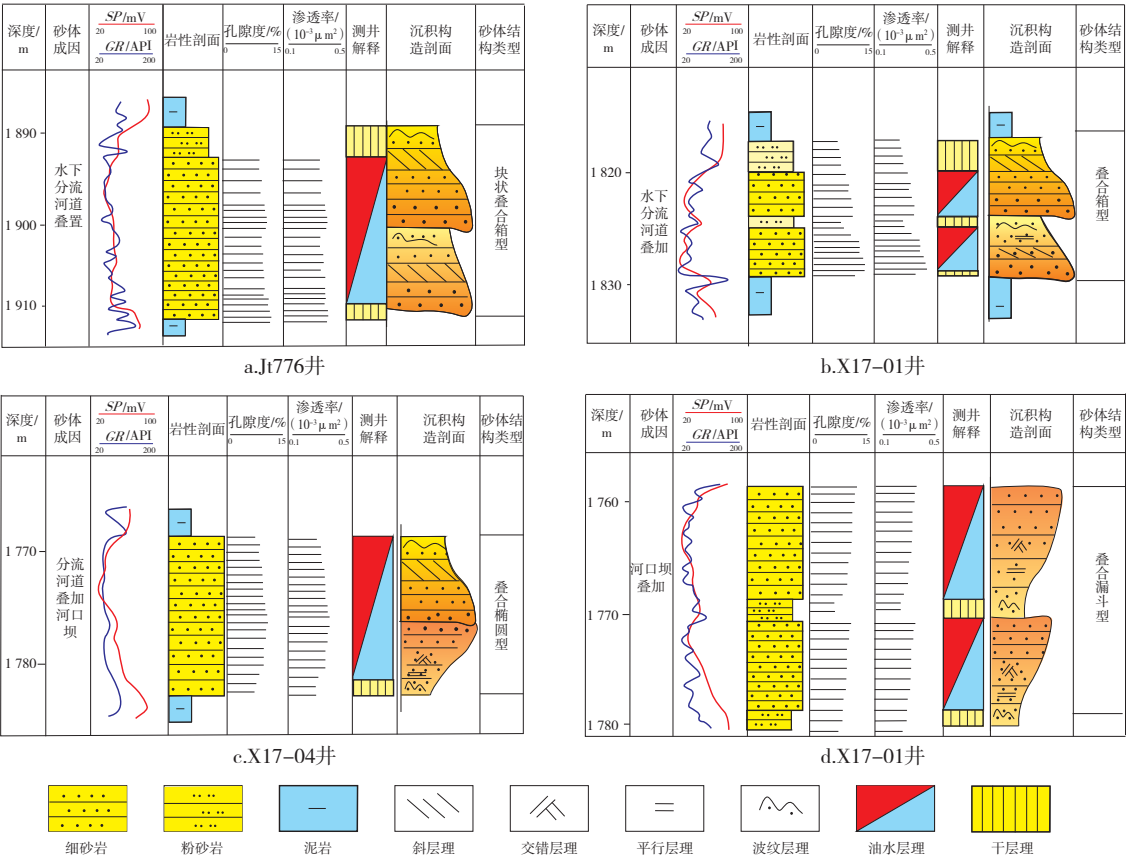


图3 靖边油田新城区长6段砂体结构

研究区长6段分流河道、河口坝砂体广泛分布,储层具有厚度变化大、层内夹隔层发育,物性变化快,非均质性强,油藏严格受砂体结构和储层物性控制,属于典型岩性油藏。

砂体作为油气运移通道和油气储集良好场所,其砂体叠置关系影响着油气水分布。三角洲前缘是沉积砂体卸载的有利区域,不同沉积微相组合形成多样砂体结构,影响砂体连通性和含油气性。平面上砂体结构类型影响油藏分布。长6₂油藏主体位置主要砂体结构类型为叠合箱型、叠合椭圆型、叠合漏斗型,油藏边部主要是孤立漏斗型砂体结构,由于砂体结构内部差异,油藏边界砂体减薄甚

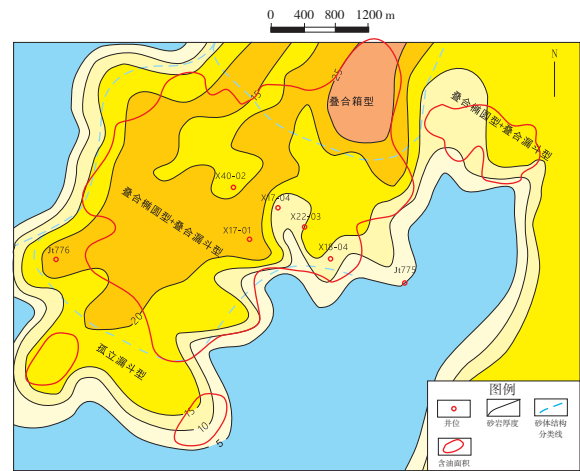


图4 靖边油田新城区长6₂砂体结构与含油面积叠合

至尖灭,岩性变细、物性变差、泥质成分增多,非均质性增强,因而含油性变差(图4)。

砂体结构的差异影响油气纵向分布。长6段中,油气主要呈大面积连片分布在长6₂、长6₃砂层组中,长6₄、长6₁主要呈透镜状零星分布。长6₂、长6₃砂体结构主要以块状叠合箱型、叠合箱型、叠合椭圆型、叠合漏斗型砂体结构为主,砂体横向上呈板状或拼接状延伸,连通性好,厚度大,垂向孔隙度、

渗透率相对分布均匀,泥质和物性夹层不发育,在油源充足的条件下,有利于油气在砂体中二次运移,所以油气连片富集,多发育油层。而长6₁和长6₄多发育孤立钟形、孤立漏斗型和孤立指状砂体结构,砂体厚度薄,横向上连通性差,油气运移受限,因此不易形成大面积油气聚集,油层多呈短条带状或透镜状分布,尽管靠近湖盆中心烃源岩发育区,但由于储层物性较差,多为干层或水层(图5)。

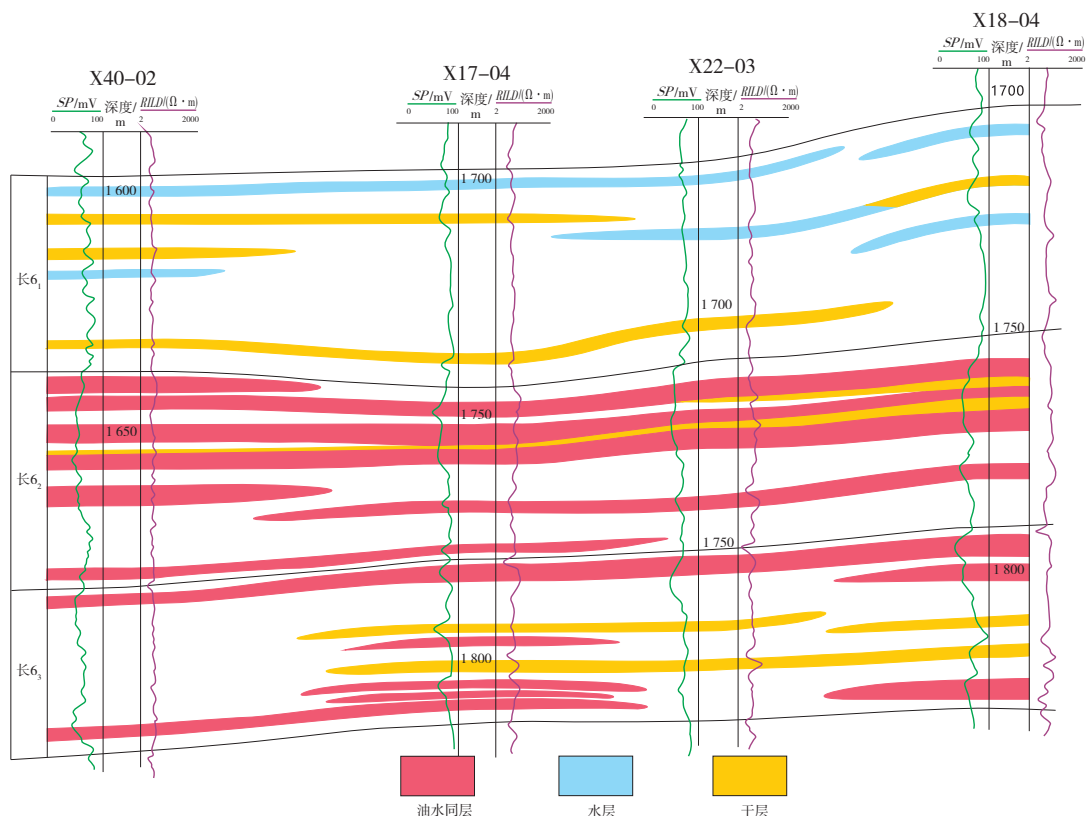


图5 靖边油田新城区长6段油藏剖面

3 储层非均质成因分析

3.1 沉积微相

沉积条件与沉积环境主要决定了砂岩储层的规模、分布、结构及物性构架^[11],造成砂体内部物理特性差异,进而造成储层内部的非均质性。

靖边油田新城区长6段主要发育三角洲沉积体系,发育水下分流河道、分流间湾、水下天然堤、河口坝、远沙坝等五种微相。单期水下分流河道砂体和单期的河口坝砂体形成不同韵律的储层非均质。三角洲前缘砂体快速推进,多期分流河道叠加、河道与河口坝叠加形成厚层砂体,厚度为10~20 m,形成良好的储集体,构成了油气聚集成藏的良好储集空间。垂向上各期砂体彼此叠置,平面上侧向加积

形成复合砂体。由于分流河道频繁改道与河口坝侧向迁移使砂体展布呈网状交织或串珠状展布,垂向上厚层砂体内出现多个韵律叠加和夹层分布。平面上砂体迁移,呈网状交织或串珠状展布,内部连通性变差,油气分布出现差异。

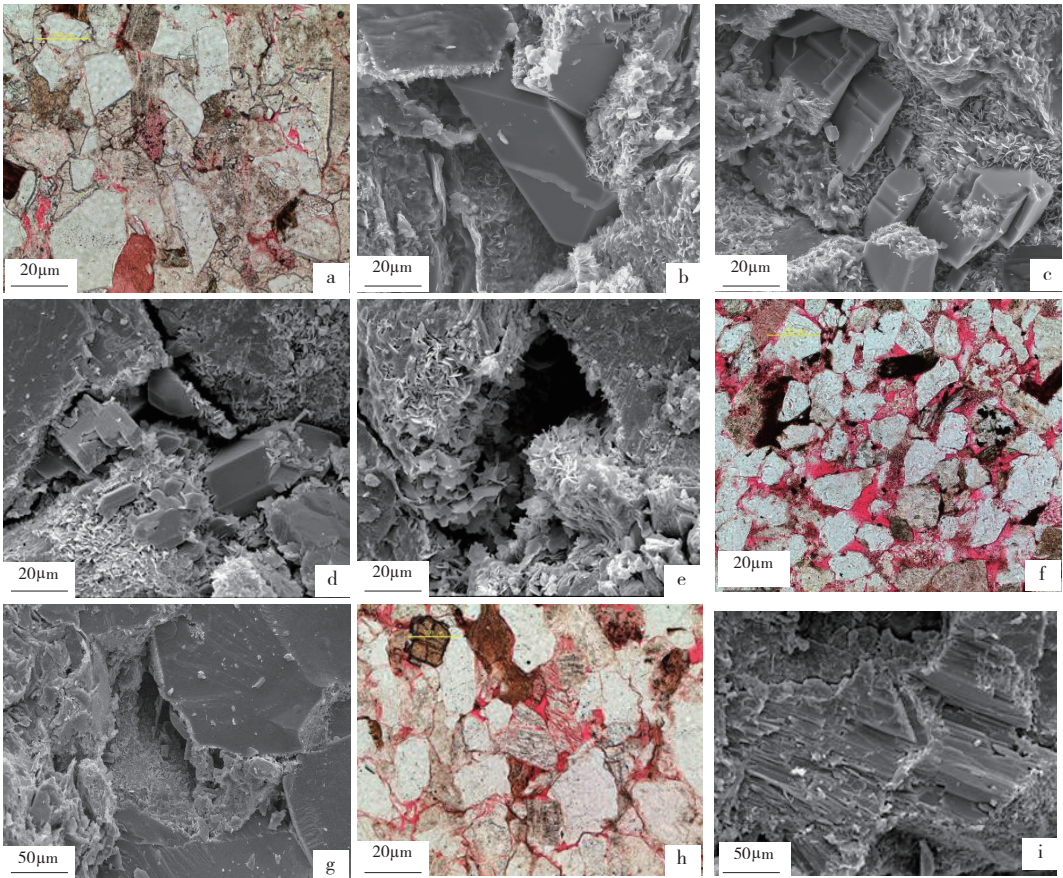
3.2 成岩作用

当沉积物或砂体沉积后,由于一系列的成岩作用,如压实、压溶、溶解、胶结和交代以及重结晶等作用改变了原始砂岩的孔渗性,从而增加了储层的非均质程度^[12]。靖边油田新城区长6段成岩作用类型复杂多变,其中压实作用、碳酸盐胶结、石英和长石的次生加大以及自生黏土矿物的充填等作用常使岩石变得相对致密,储层的孔渗性降低。不同胶结物产出状态差异,造成储层层内微观非均质性

大大增强。绿泥石胶结多以薄膜的形式产出,有利于原生孔隙的保存,具有较高的孔隙度和渗透率。早期的碳酸盐胶结占据有孔隙空间,不利于后期孔隙水流通,整体有较低的孔隙度和渗透率。而硅质胶结降低了原生孔隙空间,具有较小的孔隙度和渗透率,高岭石充填孔隙,伊利石减小渗透率。而碎屑颗粒的溶蚀、胶结物的溶解又使储层的物性变好,孔渗性提高,但同时碎屑岩不均匀的溶蚀、溶解也会使岩石内部的微观结构变化,从而提高了储层

的非均质性。

研究区长6段储层胶结物主要是碳酸盐矿物、硅质和黏土矿物。碳酸盐矿物包括方解石、白云石连晶状胶结(图6a)、晚期铁方解石(图6b),硅质为石英和长石的次生加大(图6c、图6d),黏土矿物为绿泥石、高岭石、伊利石胶结充填粒间孔(图6e、图6f、图6g)。长石、浊沸石、岩屑等不稳定颗粒直接溶蚀形成溶蚀粒内孔隙(图6h、图6i),这些作用促使储层微观上产生极强的非均质性特征。



a. J340,长6,白云石连晶状胶结,部分交代碎屑; b. J340,长6,方解石充填粒间孔; c. J340,长6,加大状钾长石及少量浊沸石充填孔喉; d.Jt776,长6,石英次生加大; e.Jt775,长6,绿泥石胶结; f. J340,长6,高岭石充填粒间孔隙; g. J340,长6,伊利石充填孔隙; h. Jt776,长6长石溶孔、浊沸石溶孔; i. Jt776,长6,长石溶蚀。

图6 研究区长6段岩石显微镜下照片

3.3 构造改造作用

构造改造作用主要是指致密储层中普遍发育的多尺度裂缝作用^[13]。裂缝作用主要是形成高导流通道,使储层非均质性更加复杂,进而在局部调整油气的分布。构造作用对储层非均质性的影响可以体现在宏观和微观两个方面,宏观上断层和规模较大的裂缝可以改变储层的连通性,主要表现为提供空间上具有方向性和规模影响的优势渗流

通道,减弱或消除相对低渗透层的封隔能力,但对储集空间增加的影响则不明显;微观上,多期次裂缝及其组成的缝网可以极大提升储层局部渗流能力^[14],扩大部分储集空间,明显改造储层局部物性。

研究区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中部靖边油田南部,构造为倾角不足1°的西倾单斜,局部有微弱鼻状隆起,长6段油层组未见明显断层存在,但局部见到微裂缝广泛发育,微裂缝增加了储层孔隙

连通性,改变了储层渗透性的方向,增强了渗流能力,进而影响着储层局部非均质性。

3.4 基准面变化

基准面旋回受构造、气候、湖平面以及沉积物共同影响,然而在构造稳定的坳陷湖盆沉积环境,地势平坦,总体坡度小于1°,因此,基准面旋回是控制沉积体系及叠加样式的关键控制因素^[15-17]。鄂尔多斯盆地长6段整体是在长7段湖侵之后处于基

准面下降期,其中长6₃—长6₂为基准面下降期,长6₁为基准面上升期。

长6₄处于基准面下降早期,A/S值较高,可容纳空间较大,原始地貌要素保存程度的增强导致河道砂体以侧向加积为主,使沉积微相的多样性增加。旋回的对称性随着物源的远近和所处的地理位置发生变化,在研究区主要表现为河口坝、远砂坝堆积,砂体结构为孤立漏斗型、孤立指状(图7)。

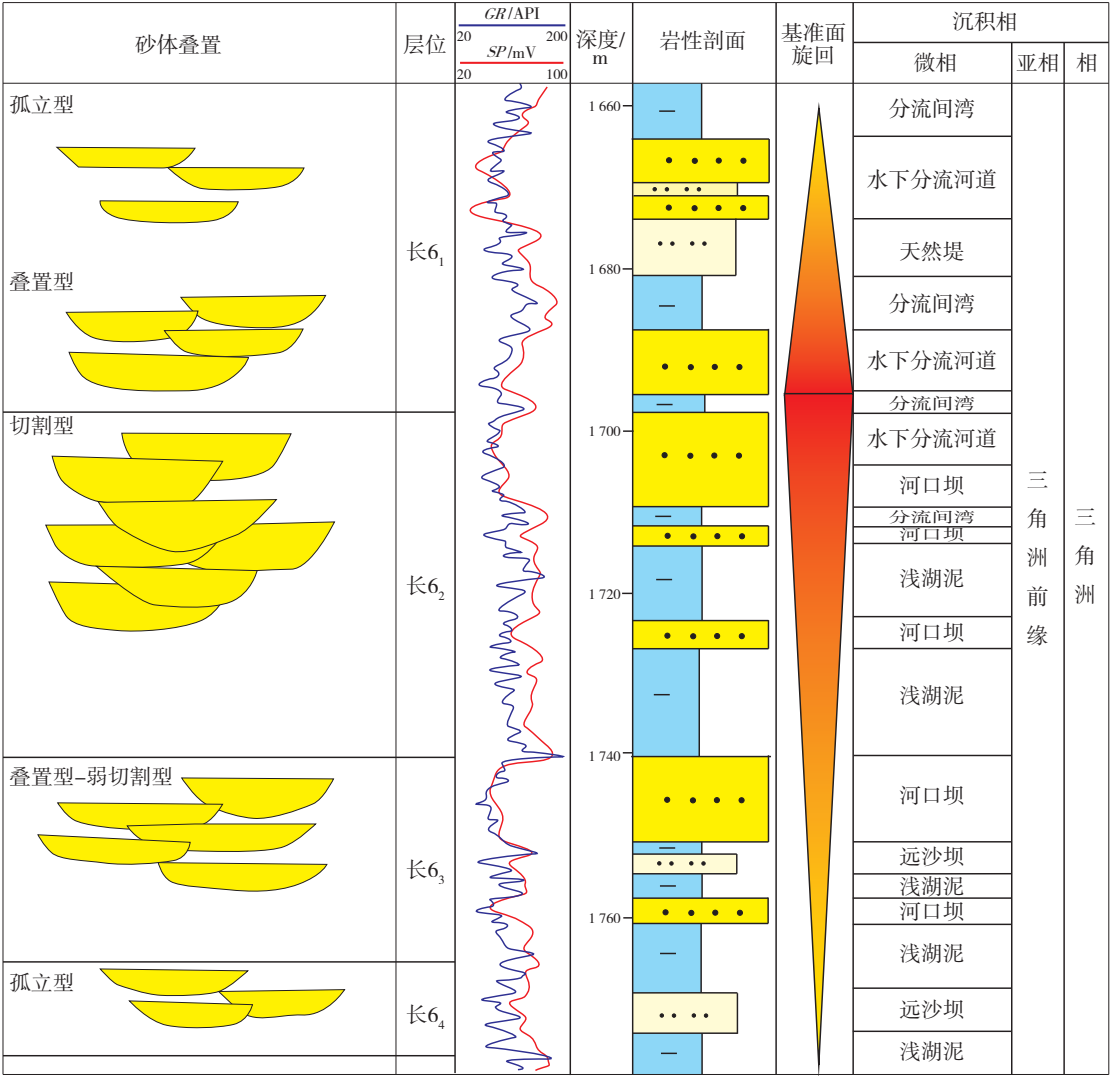


图7 靖边油田新城区长6段基准面旋回与砂体叠置关系

长6₃—长6₂处于基准面下降晚期,A/S值较低,可容纳空间较小,垂向上河道砂体互相叠置的程度明显增大,使沉积作用以垂向加积为主,侧向加积为辅,砂体结构以叠置型-弱切割型向切割型演化,使砂体以多层次或多边式为主,分流河道砂体十分发育,平面上、垂向上大规模相互叠置,砂体的连通性较好,平面上砂体呈板状和少量拼接

状(图7)。

长6₁处于基准面上升早期,A/S值较高,可容纳空间变大,此时三角洲向陆退积,在垂向上形成向上变细的剖面特征,发育的砂体彼此孤立,连通性较差,泥质含量高,储层物性最好位置一般分布在旋回的中部,主要表现为水下分流河道砂体和分流间湾泥组合,砂体结构为孤立钟型(图7)。

4 结论

(1)靖边油田新城区长6段储层非均质主要表现为单砂体非均质和砂体结构非均质。单砂体非均质主要有正韵律和反韵律非均质,对应于水下分流河道和河口坝沉积微相;砂体结构非均质可分为块状叠合箱型、叠合箱型、叠合椭圆型、叠合漏斗型等四种类型。

(2)研究区长6段油藏严格受砂体结构和储层物性控制,其砂体叠置关系影响着油气水分布。平面上长 6_2 油藏主体位置主要砂体结构类型为叠合箱型、叠合椭圆型、叠合漏斗型,油藏边部主要是孤立漏斗型砂体结构。纵向上长 6_2 、长 6_3 砂体结构主要以块状叠合箱型、叠合椭圆型砂体结构为主,储层非均质性较弱,油气多呈大面积连片分布,而长 6_1 和长 6_4 多发育孤立钟形、孤立漏斗型和孤立指状砂体结构,储层物性较差,多为干层或水层。

(3)沉积作用导致不同成因砂体叠置,形成砂体内部非均质性。成岩作用主要影响单砂体内部垂向非均质性,进而影响四种砂体结构内部的非均质性。压实作用及碳酸盐、黏土矿物的胶结作用是减小储层孔隙度、降低渗透率的主要因素;长石和浊沸石发生的溶蚀作用易产生溶蚀孔隙,改善储层的物性;构造作用产生微裂缝,裂缝主要起渗流通道的作用,增强了局部导流能力,使储层非均质性更加复杂;基准面旋回控制砂体叠加样式,进而影响储层非均质性。基准面下降晚期,砂体切割叠置,发育复合型砂体结构,基准面下降早期和基准面上升早期,砂体呈孤立分布。

参考文献:

- [1] 裴泽楠,陈子琪.中国油藏管理技术手册:油藏描述[M].北京:石油工业出版社,1996:326-344.
- [2] 柴毓,王贵文,柴新.四川盆地金秋区块三叠系须二段储层非均质性及成因[J].岩性油气藏,2021,33(4):29-40.
- [3] 邹敏,夏东领,魏荷花,等.鄂尔多斯盆地渭北地区长3致密砂岩沉积微相与储层非均质性[J].地质科技情报,2015,34(4):65-69.
- [4] 罗晓容,王忠楠,雷裕红,等.特超低渗砂岩油藏储层非均质性特征与成藏模式——以鄂尔多斯盆地西部延长组下组合为例[J].石油学报,2016,37(S1):87-98.
- [5] 马永宁,魏龙杰,吴珍珍,等.靖安油田杨66井区延10储层非均质性及流动单元[J].西安石油大学学报(自然科学版),2022,37(4):1-9.
- [6] 王辉,王美霞,白聪萍,等.子长油田子128井区长6储层非均质性及其影响因素[J].西安石油大学学报(自然科学版),2022,37(4):17-25.
- [7] 魏新善,陈洪德,张道锋,等.致密碳酸盐岩储集层特征与天然气勘探潜力——以鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东部奥陶系马家沟组为例[J].石油勘探与开发,2017,44(3):319-329.
- [8] 付锁堂,付金华,牛小兵,等.庆城油田成藏条件及勘探开发关键技术[J].石油学报,2020,41(7):777-795.
- [9] 贾承造,邹才能,李建忠,等.中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J].石油学报,2012,33(3):343-350.
- [10] 邹才能,朱如凯,吴松涛,等.常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J].石油学报,2012,33(2):173-187.
- [11] 田景春,刘伟伟,王峰,等.鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界致密砂岩储层非均质性特征[J].石油与天然气地质,2014,35(2):183-189.
- [12] LI M, GUO Y H, LI Z F, et al. The diagenetic controls of the reservoir heterogeneity in the tight sand gas reservoirs of the Zizhou Area in China's East Ordos Basin: implications for reservoir quality predictions[J]. Marine and Petroleum Geology, 2020, 112: 104088.
- [13] 王友净,宋新民,李佳鸿,等.特低渗透油藏动态裂缝非均质性和复合砂体内部构型对开发的意义[J].西北大学学报(自然科学版),2018,48(1):123-131.
- [14] 朱圣举,赵向原,张皎生,等.低渗透砂岩油藏天然裂缝开启压力及影响因素[J].西北大学学报(自然科学版),2016,46(4):573-578.
- [15] 赖洪飞,秦智,王洪君,等.高频基准面旋回控制下浅水三角洲及其砂体发育模式:以松辽盆地扶余油田白垩系泉头组为例[J].古地理学报,2017,19(4):609-622.
- [16] 刘为付,刘双龙,孙立新,等.包日温都构造带九佛堂组高分辨率层序结构及储层分析[J].地层学杂志,2015,39(3):310-318.
- [17] 赵伦,王进财,陈礼,等.三角洲砂体构型对水驱波及特征的影响——以南图尔盖盆地 Kumkol South 油田 J-II 层为例[J].石油勘探与开发,2017,44(3):407-414.

(编辑 刘义梅)