

鄂尔多斯盆地 X 油田长 7 段储层特征

Jiacheng Dang^{1,2*}, Xing Liu^{1,2}

¹ 西安石油大学地球科学与工程学院 陕西西安

² 西安石油大学陕西省油气成藏重点实验室 陕西西安

【摘要】 致密油的主控因素一直是非常规油气地质理论的核心内容。本文以鄂尔多斯盆地 X 油田长 7 段储层特征为研究对象，利用录井、钻井、录井、岩心、薄片、压汞、核磁等资料，揭示了 X 油田长 7 段砂岩储层特征。可以得出以下结论：X 油田长 7 段砂岩储层岩石类型以细粒长石砂岩为主，储层物性普遍较差，整体以超低孔—超低渗、超低孔—超低渗致密砂岩为主。残余粒间孔、粒间孔、溶孔及微裂缝发育，其中以溶孔最为丰富，主要为长石、浊积岩溶孔。在成岩作用中，压实作用对砂岩的致密化贡献最大，溶蚀作用为油气聚集提供了良好的储集空间。

【关键词】 致密油；储层；长 7 段；鄂尔多斯盆地

【收稿日期】 2024 年 9 月 25 日

【出刊日期】 2024 年 11 月 19 日

【DOI】 10.12208/j.pngc.20240003

Reservoir Characteristics of Chang 7 Member of X Oilfield, Ordos Basin

Jiacheng Dang^{1,2*}, Xing Liu^{1,2}

¹ School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi

² Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation of Shaanxi Province, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi

【Abstract】 The main controlling factors of tight oil have always been the core content of unconventional oil and gas geology theory. In this paper, the reservoir characteristics of Chang 7 member of X oilfield in Ordos Basin are taken as the research object, and the characteristics of sandstone reservoir of Chang 7 member of X oilfield are revealed by using logging, drilling, logging, core, thin section, mercury injection, nuclear magnetic and other data. The following conclusions can be drawn: The rock type of Chang 7 sandstone reservoir in X oilfield is mainly fine-grained feldspar sandstone, and the reservoir physical property is generally poor. As a whole, it is mainly composed of ultra-low porosity - ultra-low permeability, ultra-low porosity - ultra-low permeability tight sandstone. Residual intergranular pores, intergranular pores, dissolution pores and micro-fractures are developed, among which the dissolution pores are the most abundant, mainly feldspar and turbidite dissolved pores. In diagenesis, compaction contributes most to the densification of sandstone, and dissolution provides a good reservoir space for oil and gas accumulation.

【Keywords】 Tight oil, Reservoir; Chang 7 member; Ordos basin

1 简介

致密油藏作为近年来非常规油气勘探开发的重要对象，在许多国家都发现了致密油藏，主要分布在美洲国家和欧洲部分国家^[1-3]中国致密油起步晚、分布广，具有巨大的勘探开发前景^[4-6]，分布在鄂尔多斯盆地、四川盆地、松辽盆地、准噶尔盆地、吐哈盆地等几大油田，其中鄂尔多斯、松辽盆地致密油

产量高于其他盆地^[7-8]。

2 区域地质调查局

X 油田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东部，面积约 293km² 是中国石油勘探开发最早的油田之一。区块构造简单，以西倾单斜为主，局部发育弱犀斜构造，倾角小于 1°。主要含油层位为三叠系长 6、长 7 组。

*通讯作者: Jiacheng Dang

注: 本文于 2023 年发表在 Journal of Electrical Power & Energy Systems 期刊 7 卷 1 期, 为其授权翻译版本。

3 岩石学特征

3.1 砂岩成分特征

3.1.1 碎屑成分特征

根据长 7 段储层砂岩薄片鉴定,长 7 段碎屑物质以长石为主,含量最高为 31.6%~67%,平均为 52.9%,为主要矿物成分;石英含量相对较低,含量为 15.3%~26%,平均为 22.1%;岩屑含量最低,含量为 0%~12%,平均为 4.8%。总体来看,研究区碎屑岩成分成熟度不高,但碎屑组分相对稳定,岩石类型为长石砂岩。

在铸体剖面观察中发现,长石中斜长石所占比例较大,这在全岩组分的 X 射线衍射数据中也有所体现。变质岩岩屑含量最高,范围为 0%~6%,平均值为 3.9%;沉积岩岩屑含量最低,在研究区内很少发育,平均值仅为 0.2%;火成岩岩屑平均值为 1.0%。

3.1.2 填隙物质的成分特征

通过对研究区目的层段分析中的全岩组分 X 射线衍射及采集的薄片鉴定相关数据的综合分析,认为研究区碎屑岩储层黏土矿物含量较高,占 5.3%~22.9%,平均为 9%。经黏土矿物分析,研究区绿泥石相对含量为 76.5%,为黏土矿物中最高,其次是伊利石、高岭石。经研究区胶结物含量统计,含量最高的为长 7 段方解石,平均含量为 3.9%,占胶结物含量的 65%。杂岩多为泥质,平均含量为 2.1%,含少量云母碎屑。

3.2 砂岩结构特征

根据砂岩粒度分析实验结果发现,X 油田长 7 段砂岩粒度主要分布范围为 0.06~0.29mm,平均粒度在 0.1~0.2mm 之间。同时,岩性粒度统计表明,长 7 段储层粒度分布以细砂岩为主,另见少量中—细砂岩、极细砂岩。通过铸体薄片及常规薄片数据统计分析可知,长 7 段砂岩储层整体分选效果中等—良好,但磨粒程度不佳,胶结类型以亚棱角状—亚圆状为主,孔隙胶结类型为主,颗粒多为点—线接触方式,表明其结构成熟度较高。

3.3 储层微观孔隙特征

通过对研究区内 6 口探井铸岩样品薄片观察,结合扫描电镜等显微实验对岩石微观孔隙进行观察。按照国内外通用的分类方法,研究区长 7 段砂岩储层按其形成机制和几何形态可分为原生孔隙、次生孔隙和裂缝 3 种类型^[9]。根据微观观察统计,研究区长 7 段砂岩储层总相面比例在 0.1%~2%,平均

为 0.38%。总体上,次生孔隙贡献最大。

(1) 原生孔隙:研究区原生孔隙主要为残余粒间孔,又称残余粒间孔。此类孔隙形成的原因主要是沉积成岩过程中形成的颗粒间孔隙被胶结物充填,对原生粒间孔进行改造。原生粒间孔隙平均含量为 1.2%,占总面率的 22%,较为发育。

(2) 次生孔隙:研究区次生孔隙最为发育,含量最高。显微镜观察发现目的层段最常见的次生孔隙为长石溶孔、浊积岩溶孔和粒间孔。次生孔隙总体含量主要为 0.5%~42.3%,平均值为 5.2%。砂岩储层孔隙度为 76.6%,其中长石溶孔面率为 38.2%,浊积岩溶孔面率为 32.5%,粒间孔面率为 5.4%。

(3) 微裂缝:研究区在固结成岩过程中,受外界因素影响形成了少量的微裂缝,其含量主要分布在 0%~0.2%,平均含量为 0.1%,占总面比的 1.4%。虽然裂缝占比较少,但对提高储层渗流能力有一定作用。

3.4 孔隙结构特征

通过对研究区目的层段岩石样品核磁共振结果分析,对高压压汞实验结果进行了探讨,发现目的层段核磁共振结果显示存在两个峰,分别为孔喉半径为 0.001 μm ~0.1 μm 和 0.1 μm ~10 μm ,孔喉半径区间为 0.001 μm ~0.1 μm 。

以同一地层 X2 与 X1 为例,根据 X2 井长 7 段核磁谱发现,离心前后 X2 井孔喉大小存在较大差异,在孔喉增大之后,在大孔喉处存在二次加速现象,而 X1 井的结果显示,孔喉最大贡献值主要在孔喉区域。根据不同离心力条件下的核磁共振谱发现,X2 样品的可动流体在不同离心力条件下发生了明显的变化,因此可以得出 X2 样品大孔喉发育程度高于 X1 样品的结论。铸片观察显示 X2 井在此深度处的孔隙比 X1 井在此深度处的孔隙略大且发育。

以 X1 井不同地层为例,通过高压压汞实验结果分析,DT033 井 488.05m 处样品的大孔喉道大于 508.67m 处样品的大孔喉道。

基于 X 油田长 7 段 10 个样品的高压压汞数据和 6 个样品的核磁共振数据,对能够表征储层孔喉结构的参数进行统计分析。

孔喉大小参数统计:选取排驱压力、中值压力、孔喉中值半径表征孔喉大小,排驱压力范围为 0.62~38.12MPa,平均值为 6.79MPa,中值为 3.28MPa;中值压力范围为 5.83~163.04MPa,平均

值为 42.42MPa, 中值为 24.5MPa; 孔喉中值半径范围为 0.01~0.13 μm , 平均值为 0.05MPa, 中值为 0.04MPa。

孔喉分选参数统计: 主要选取分选系数、倾斜度、变异系数来表征储层的孔喉分选性, 它们的大小代表了孔喉分选性的好坏, 其中分选系数介于 0.59~2.13 之间, 平均值为 1.41, 中值为 1.39; 倾斜度介于 -0.3~0.23 之间, 平均值为 -0.07, 中值为 -0.1; 变异系数介于 0.04~0.16 之间, 平均值为 0.11, 中值为 0.11。

孔喉连通性参数统计: 选取最大吸汞饱和度、脱汞效率和可动流体饱和度表征储层孔喉连通性, 最大吸汞饱和度变化范围为 33.42%~92.37%, 平均值为 71.84%, 中值为 80%; 脱汞效率变化范围为 19.42%~81.99%, 平均值为 39.88%, 中值为 35.76%; 可动流体饱和度变化范围为 7.89%~50.41%, 平均值为 21.67%, 中值为 14.86%。

3.5 岩石成因类型

(1) 压实

压实作用在储层致密化过程中起着最大的作用, 基本贯穿整个成岩阶段。压实作用的强度主要体现在碎屑岩所受的外界应力、沉积物各组分含量以及碎屑岩的埋藏深度等, 这些都与压实作用有着密不可分的关系。

随着埋藏深度的加深, 储层压实作用更加明显, 特别是塑性矿物的挤出使孔隙空间进一步缩小。根据上述研究, 研究区塑性矿物比例较高, 为压实作用创造了非常必要的物质基础。在铸体薄片和扫描电镜下可以发现以下现象: (1) 压实巨大的能量会使以绿泥石、黑云母等含量较高的塑性矿物发生强烈的挤压变形。(2) 刚性颗粒的挤出, 会使填充于刚性颗粒之间的云母发生挤出, 呈现假杂基状态, 其实并不是杂基。(3) 云母、绿泥石等塑性矿物受到挤压后, 呈现出一定方向性的比较整齐的排列;

(4) 碎屑颗粒中线接触最为发育, 一般只在小范围内存在凹凸接触。

(2) 胶结

研究区目的层段胶结作用也较为发育, 这是因为研究区内发育了大量的胶结作用和粘土矿物, 它们最直接的作用就是堵塞孔隙, 从而降低储层的孔隙度, 恶化储层的物性。根据上述胶结作用的类型, 通过显微镜观察和扫描电镜 (SEM) 分析, 研究区

内主要发育 3 种类型的胶结作用, 分别为方解石胶结作用、硅质胶结作用、石英次生加固作用以及一些粘土矿物胶结作用。

(3) 解散

溶蚀对改善储层渗透性起着建设性作用。溶蚀作用的成因主要分为两种, 一是无机酸的淋溶, 二是有机酸的溶解, 不同的可溶矿物, 溶解的程度会有所不同。研究区内主要存在两种溶蚀作用, 即长石溶蚀和浊积岩溶蚀。这两种溶蚀作用都可以不同程度地改善储层的物性, 有效改善了长 7 段致密砂岩储层的物性。在铸体薄片显微镜观察下发现, 当长石和浊积岩发生溶蚀时, 两者的溶蚀位置有所不同, 前者可以在颗粒的边缘, 也可以在颗粒的内部, 而后者只能沿解理缝溶解, 形成溶蚀缝。

4 结论

(1) 研究区岩性以细粒长石砂岩为主, 长石含量最高, 表明研究区成分成熟度较低, 砂岩储层整体分选性不佳, 磨粒程度差。砂岩储层以次棱角状、次圆形为主, 接触方式多为点一线接触, 表明具有较高的构造成熟度特征。次生孔隙中发育溶孔, 为油气提供了优良的储集空间。

(2) 研究区整体物性较差, 属于特低孔—特低渗及特低孔—特低渗致密砂岩储层, 储层物性受多种因素控制, 主要表现为砂岩厚度、岩石成分、压实作用、孔隙结构等, 研究区长 7 段储层非均质性强。

(3) 研究区成岩作用强烈, 主要有压实作用、胶结作用和溶蚀作用。压实作用使孔隙减少, 且随着埋藏深度的加深, 有机质热演化程度也增大, 酸液排出, 砂岩中可溶物质大量溶解, 为储集空间的改善和优质储层的形成提供了良好的基础。

参考文献

- [1] Zhang Junfeng, Bi Haibin, Xu Hao, et al. New progress and reference significance of overseas tight oil exploration development [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(2):127-137.
- [2] NEB. Tight oil developments in the western Canada sedimentary basin [EB/OL]. [2011-10-02].
- [3] YANG Hua, LI Shixiang, LIU Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1):1-11.

- [4] ZOU Caineng, TAO Shizhen, YUAN Xuanjun, et al. Global importance of “continuous” petroleum reservoirs: accumulation, distribution and evaluation [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2009, 36(6):669-682.
- [5] Tao Shizhen, Zou Caineng, Gao Xiaohui, et al. Migration force, accumulation mechanism and distribution law of different types of oil and gas [C]. *Proceedings of the 27th Annual Meeting of the Chinese Geophysical Society*, 2011:72-73.
- [6] JIA Chengzao, ZHENG Min, ZHANG Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(2):129-136.
- [7] YANG Hua, NIU Xiaobing, XU Liming, et al. Exploration potential of shale oil in Chang7 Member, Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2016, 43(4):511-520.
- [8] HU Suyun, TAO Shizhen, YAN Weipeng, et al. Advances on continental tight oil accumulation and key technologies for exploration and development in China [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2019, 30(8):1083-1093.
- [9] Er Chuang, Li Yangyang, Zhao Jingzhou, et al. Pore formation and occurrence in the organic - rich shales of the Triassic Chang - 7 Member of Yanchang formation of Ordos Basin, China [J]. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 2016, 1 (6):435-444.

版权声明：©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS