

鄂尔多斯盆地华庆地区长8致密砂岩储层特征及其成因

张纪智¹,陈世加¹,肖艳²,路俊刚¹,杨国平³,唐海评¹,刘超威¹

(1. 西南石油大学,四川 成都 610500; 2. 四川省煤田地质工程勘察设计院,四川 成都 610500; 3. 中国石油长庆油田分公司,陕西 西安 710000)

摘要:鄂尔多斯盆地华庆地区长8段砂岩为一套典型的低孔、低渗到特低孔、特低渗的储层,平均孔隙度为8.27%,平均渗透率为 $0.51 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要孔隙类型为剩余粒间孔隙,孔隙结构以小型小孔喉和微型小孔喉为主。长8致密砂岩储层经历了压实、胶结、溶解等复杂的成岩作用,其中压实和胶结等破坏性成岩作用使储层的原生孔隙大大减少,且长8储层在镜下发现沥青充填孔隙,降低了储层的物性,导致储层致密。成岩作用对储层的致密化起决定性作用,沉积环境是控制致密砂岩储层形成的基本因素,三角洲前缘砂体中的水下分流河道砂体物性最好;主砂体展布带内中心部位物性好,向两边逐渐变差。随着填隙物含量的增加,储层物性逐渐变差。

关键词:储层沥青;填隙物;矿物组分;成岩作用;沉积作用;致密砂岩;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Characteristics of the Chang 8 tight sandstone reservoirs and their genesis in Huaqing area, Ordos Basin

Zhang Jizhi¹, Chen Shijia¹, Xiao Yan², Lu Jungang¹, Yang Guping³, Tang Haiping¹, Liu Chaowei¹

(1. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China; 2. Engineering Investigation and Design Institute of Sichuan Provincial Coalfield Bureau, Chengdu, Sichuan 610500, China; 3. Chang qing Oil Field Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710000, China)

Abstract: Chang 8 sandstone of the Upper Triassic Yanchang Formation in Huaqing area, Ordos Basin, is a typical set of reservoirs with low-ultra low porosity and permeability. Its average porosity is 8.27% and average permeability is $0.51 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. The main type of pore space is residual inter-granular pore, and the main type of pore structure is tiny and micro throat. The Chang 8 reservoir has experienced complex diagenesis, such as compaction, cementation, and dissolution. The destructive diagenesis of compaction and cementation sharply reduce the primary pores of the reservoir, besides, some pores are filled with bitumen, resulting in the lowering of porosity and permeability and the tightness of the reservoir. Diagenesis is a determining factor in reservoir tightening, while depositional environment is the basic controlling factor of the reservoir physical property. The underwater distributary channel sands in delta front have the best physical property, and the central part of the sandbody is better than its two sides. With the increasing of interstitial matter, the physical properties get poorer.

Key words: reservoir bitumen, interstitial matter, mineralogical composition, diagenesis, sedimentation, tight sandstone, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地华庆地区长8属东北、西南两大物源交汇区,砂体发育,且位于源岩发育区,油源充足,成藏条件有利,油藏面积连片且产量高。其西南部西峰地区和西北部姬塬地区长8发现了较大规模的油藏^[1],工区内白豹地区的白246、白306、白468等3个高产富集区并已投入开发,有利含油范围560 km²,是油田下步增储上产的重要接替层系。

致密砂岩储层具有岩性致密、低孔低渗、气藏压力系数低、圈闭幅度低、自然产能低等典型特征^[2-7],加强对致密砂岩储层的成因分析,揭示优质储层的分布规律,对其有效的勘探开发尤为重要。以鄂尔多斯盆地华庆地区长8储层为例,研究了造成该区储层致密的原因,为油藏的下一步勘探和开发提供可靠的地质依据。

1 地质简况

鄂尔多斯盆地西缘贺兰山—六盘山构造带、南侧秦岭造山带、东侧吕梁山隆起和北缘阴山隆起带所限定,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$,构造稳定,除盆地边缘有轻微褶皱,本部有超出 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 地层近于水平,以不到 1° 的倾角微向西倾,为典型的“克拉通盆地”^[8-9]。延长组湖盆为一大型的敞流湖盆,其充填演化与构造发育史、古气候演化史具有明显一致性,可划分为湖盆形及扩张期、鼎盛期、回返期和萎缩消亡期 4 个演化阶段,此过程中,湖盆经过 4 次明显湖进与湖退变化,但深湖中心变化不大,一直沿华池—宜君一带波动^[10]。

华庆地区北起长官庙,南至上里塬,西起白马,东抵南梁,面积约 $7\,000 \text{ km}^2$ (图 1),延长期处于湖盆深水区,深水沉积砂体发育,发育侏罗系及长 3、长 4+5、长 6、长 7、长 8 等多套含油层系,长 8 油层组目前研究程度较低,有待取得更大程度的突破。

2 储层岩石学特征

根据大量岩石薄片鉴定资料,研究区长 8 砂岩类型主要为岩屑质长石砂岩和长石质岩屑砂岩(图 2a),石英和长石含量相差不大,岩屑含量相对较低(表 1)。岩屑主要为火山岩屑和变质岩屑,沉积岩屑很少(图 2b)。填隙物总量 12.53%,主要由粘土矿物(高岭石、水云母、绿泥石)、碳酸盐(铁方解石、铁白云石)、硅质等组成。

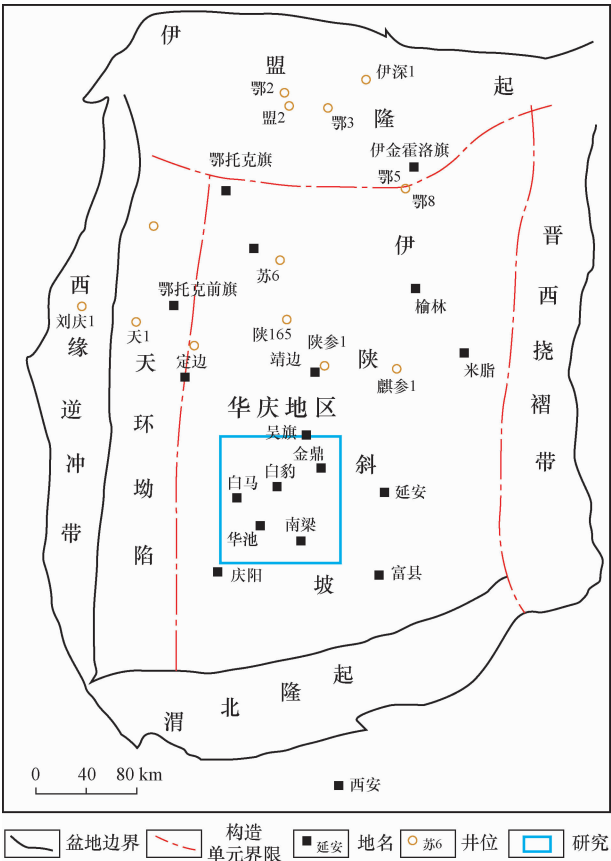


图 1 研究区构造位置
Fig. 1 Structure location of the study area

表 1 华庆地区长 8 储层岩矿特征统计
Table 1 Petrology characteristics of the Chang 8 reservoir in Huaqing area

层位	石英含量/%	长石含量/%	岩屑含量/%			合计/%
			火成岩屑	变质岩屑	沉积岩屑	
长 8	29.54	29.30	8.01	13.07	0.25	21.33

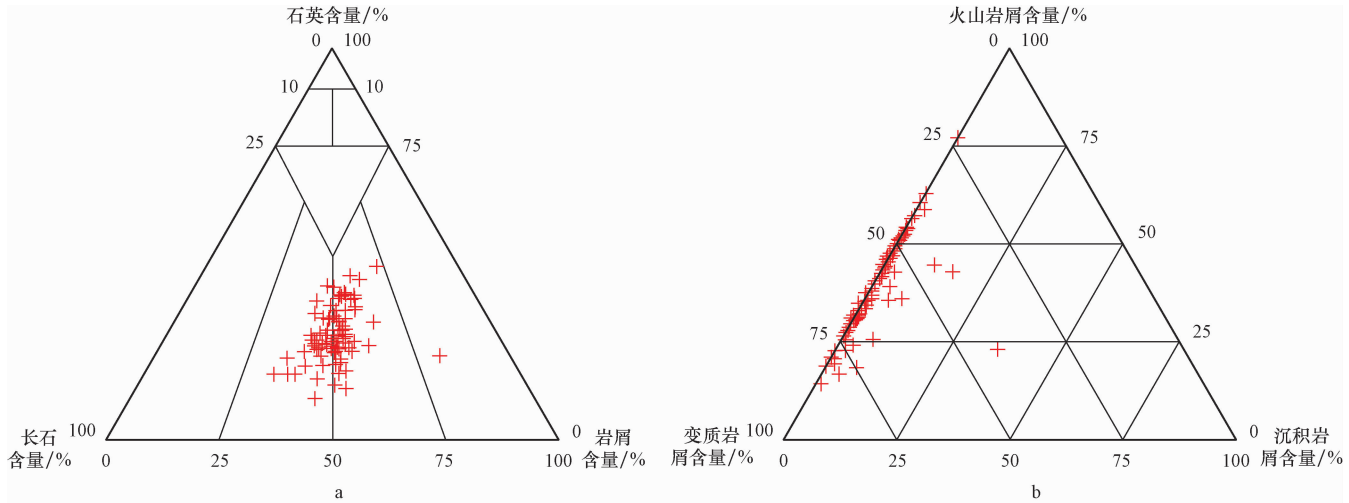


图 2 华庆地区长 8 储层砂岩成分及岩屑组分分类
Fig. 2 Sandstone and lithic component analysis of the Chang 8 reservoir in Huaqing area
a. 长 8 砂岩成分分类; b. 长 8 岩屑组分分类

长8段砂岩粒度较小,以细粒及粉-细粒为主;磨圆度以次棱角状为主;分选中等-好;沉积物颗粒多为颗粒支撑,接触关系以点-线状为主;碎屑颗粒接触方式有孔隙式胶结、接触式胶结和镶嵌式胶结,胶结类型主要以加大-孔隙,孔隙-薄膜和孔隙为主。

3 储层物性特征

统计本区长8储层3853块样品的分析结果,孔隙度范围为0.02%~20.67%,集中在2.0%~16.0%,占总数的70.2%,平均孔隙度8.3%。渗透率范围 $0.001 \times 10^{-3} \sim 100.575 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要分布在 $0.01 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值 $0.51 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。长8储层为一套低孔低渗到特低孔特低渗的储层^[11],其中孔、渗相对高值区段一般分布在水下分流河道砂体。

4 孔隙结构

4.1 孔隙类型及大小

根据砂岩薄片、铸体薄片及扫描电镜等资料,华庆地区长8砂岩储层的孔隙类型主要有剩余粒间孔隙、

溶蚀粒间孔隙、溶蚀粒内孔隙、自生矿物晶间孔隙和微裂缝孔隙等(图3)。其中剩余粒间孔隙是其主要孔隙形式(图3a)。溶蚀产生的孔隙类型主要包括溶蚀粒间孔隙(图3b)、溶蚀粒内孔隙(图3c)。长8储层的孔隙空间主要是原生剩余粒间孔隙和次生溶蚀孔隙,其中微孔大量发育,占样品的50%以上。研究区经常出现由剩余粒间孔和溶蚀孔组成的混合类孔隙(图3d),该孔隙类型储集层空间大,喉道连通性强,产量一般较高。

4.2 孔隙结构特征

根据毛管压力参数统计分析,长8储层排驱压力(p_d)范围为0.237~9.015 MPa,平均为1.280 MPa;最大进汞量范围为78.95%~89.90%,平均为85.24%;中值半径范围为0.082~0.524 μm ,平均为0.425 μm ;退汞效率范围为21.096%~37.671%,平均为29.159%。和其他地区相比显出退汞率低的特点,以小型小孔喉及微型小孔喉为主,孔喉相对偏细。

5 储层致密化成因

5.1 沉积作用影响

沉积作用控制了储层物性的宏观分布,除了控制

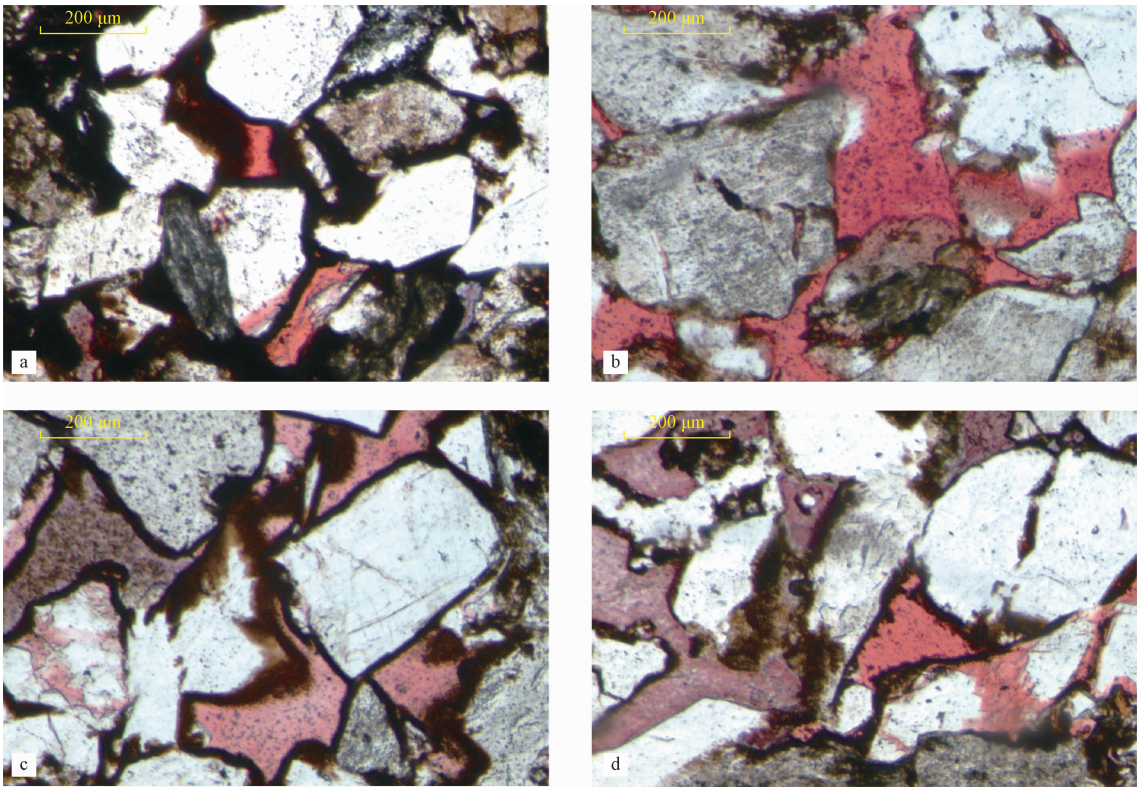


图3 华庆地区长8储层孔隙类型特征

Fig.3 Characteristics of pore types of the Chang 8 reservoir in Huaqing area

a. 白280井,长8¹,2214.84 m,绿泥石膜吸附有机质及粒间孔;b. 白241井,长8¹,2222.46 m,粒间孔及铸模溶孔;
c. 山140井,长8¹,2272.65 m,粒间溶孔;d. 白456井,长8¹,2139.10 m,粒间孔及粒间溶孔

储层的厚度、规模、空间分布等特征外,还决定着岩石的成分、结构、填隙物含量等特征,从而控制砂岩储层物性的空间分布,并对后期的成岩作用类型、强度及进程起一定的影响^[12-17]。

5.1.1 沉积相带对储层的控制

华庆地区长 8 储层主要分布于三角洲前缘相带砂体中,其中水下分流河道砂体的储层物性最好。主砂体展布带中心部位储层物性相对较好,向两边物性逐

渐变差。沉积相带是控制储层物性的关键因素。

5.1.2 岩石结构对砂体原始孔渗性的控制

储层性质与粒径和分选性的关系较密切。砂岩粒径越粗物性越好。岩石结构受控于大的沉积体系,岩石碎屑的粒度、分选性、磨圆度、排列方式及其含量控制着砂体的原始物性。颗粒粒径越大,渗透率越大;分选程度越好,抗压实作用愈强,孔隙度越高。不同地区岩石结构不同,单井储层物性有很大的差异,非均质性强。

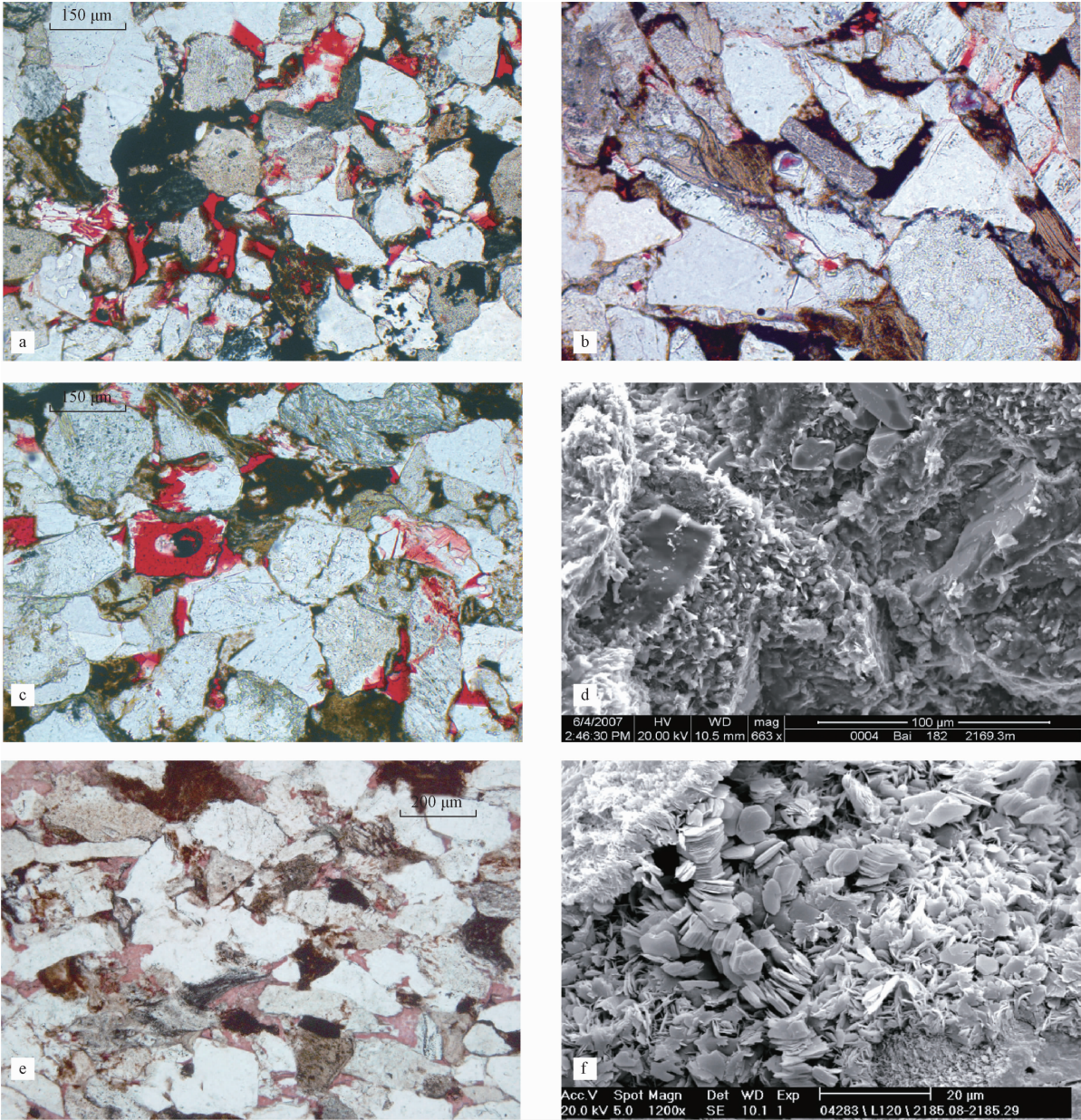


图 4 华庆地区长 8 储层典型成岩作用

Fig. 4 Typical diagenesis of the Change 8 reservoir in Huaqing area

- a. 白 465 井,碎屑定向分布,塑性岩屑变形,石英加大嵌合,具粒间孔、长石溶孔,2 204.26 m,长 8¹;
- b. 白 436 井,碎屑定向分布,具压溶现象,孔隙不发育,2 187.00 m,长 8¹;
- c. 白 429 井,石英加大常见,颗粒间紧密嵌合,粒间孔不发育,具长石溶孔,2 296.54 m,长 8¹;
- d. 白 182 井,石英充填孔喉残余形态,2 169.30 m,长 8¹;e. 午 62 井,致密,方解石胶结,1 997.48 m,长 8¹;
- f. 里 120 井,粒间充填的书页状高岭石、片状绿泥石、伊利石,2 185.08 ~ 2 185.29 m,长 8²

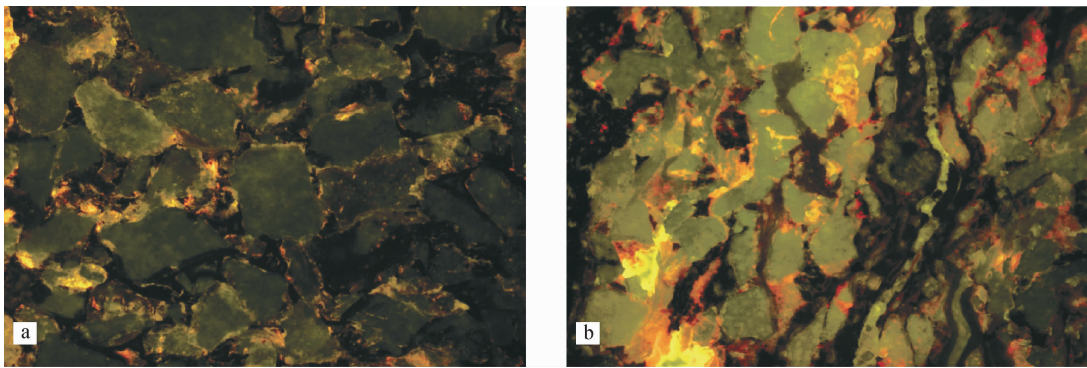


图 5 华庆地区长 8 储层荧光照片
Fig. 5 Fluorescence pictures of Chang 8 reservoir in Huaqing area
a. 山 140 井,长 8₁,2 267.71 m;b. 白 241 井,长 8₁,2 232.05 m

5.2 砂岩矿物组分及填隙物含量

砂岩的矿物组分和填隙物含量直接影响储层原始的储集、渗流性能,是储层成岩改造的物质基础。本区长 8 砂岩储层岩屑含量较高,达到 21.32%(表 1);砂岩的矿物组分中,随石英含量的增加,长石、岩屑等含量的减少,储层物性变好。

填隙物含量对储层物性有重要影响。颗粒细小的碎屑物质及化学沉淀物质一方面充填孔隙;另一方面堵塞、充填喉道,甚至微细裂缝。虽然本区单一自生粘土矿物(绿泥石环边)的含量与孔渗性存在正相关关系,但随着填隙物含量的增加,孔隙度、渗透率都随之降低。

5.3 破坏性成岩作用

5.3.1 压实作用

压实作用是原生孔隙减少的最主要原因之一。塑性岩屑颗粒(如云母、泥质岩屑)受压弯曲、变形、塑变、伸长或被硬碎屑机械挤入碎屑颗粒间形成假杂基(图 4a),小颗粒嵌入大孔隙内,使原生粒间孔隙快速降低以至消失,导致储层孔隙度降低。

5.3.2 压溶作用

研究区压溶作用不明显,在镜下偶尔可见(图 4b)。压溶作用使颗粒间的接触更为紧密,常形成凹凸接触,进一步的压溶,可出现由凹凸接触向缝合线接触的转变。

5.3.3 胶结作用

胶结作用是破坏原生孔隙的另一重要原因。
1) 硅质胶结
① 次生加大边胶结,石英次生加大边可环绕整个石英碎屑,也可仅分布于石英颗粒的局部(图 4c)。

② 孔隙充填式胶结,孔隙充填石英一般单个产出,也见有沿孔隙边缘呈集合状(图 4d)。自生石英充填孔隙一方面使原生孔隙减少,另一方面对次生孔隙的产生不利,也是造成本区砂岩物性较差的重要原因之一。

2) 碳酸盐胶结

碳酸盐胶结物有铁方解石、铁白云石、方解石和白云石胶结 4 种,以铁方解石胶结物(图 4e)为主。

3) 粘土矿物胶结

研究区粘土矿物胶结类型多样,主要有绿泥石、伊利石、伊/蒙混层、高岭石等(图 4f)。

5.4 储层内沥青(重质油)的影响

镜下观察本区长 8 储层见大量沥青(遭生物降解形成,另文发表)充填孔隙,镜下成褐色(黑色)(图 5)。将 12 个储层岩心样品进行有机溶液浸泡实验(部分或全部溶解沥青)。浸泡后孔隙度增加 1.5%~5.6%,平均增加 2.6%,渗透率变化相对较小($0.082 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。沥青类似孔隙中的充隙物,占据了大孔隙和孔喉,使储层孔隙度和渗透率降低。

6 结论

长 8 储层具有沉积物粒度偏细、成分成熟度较低、结构成熟度中等的岩石学特点;储集空间主要是原生剩余粒间孔隙和次生溶蚀孔隙,孔隙结构以小型小孔喉及微型小孔喉为主,为一套典型的低孔、低渗到特低孔、特低渗的储层。

储层致密化的原因主要是沉积作用、砂岩矿物组分及填隙物含量、破坏性成岩作用、储层内沥青的影响等。沉积作用在宏观上控制了储层物性的空间分布,三角洲前缘水下分流河道微相物性最好,远离物源环境沉积的砂岩成分成熟度低、结构成熟度中等。在砂

岩的矿物组分中,随石英含量的增加,长石、岩屑等含量的减少,储层物性变好,特殊的原始组分和结构特征成为砂岩致密的潜在因素。填隙物含量对储层物性有重要影响,随着填隙物含量的增加,孔隙度、渗透率都有降低烦人趋势。研究区经历了较强的成岩作用,其中压实作用、胶结作用对储层原始孔隙起破坏作用,导致储层致密,溶蚀作用可在一定程度上改善储层的物性。长 8 储层发现沥青类似填隙物充填于储层孔隙中,占据了大孔隙,会降低储层物性。

参 考 文 献

[1] 丁晓琪,张哨楠,谢世文,等.鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界成藏系统[J].石油与天然气地质,2011,32(2):157-160.
Ding Xiaoqi,Zhang Shaonan,Xie Shiwen,et al. Hydrocarbon accumulation system of the Mesozoic in Zhenjing oilfield,the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2011,32(2):157-160.

[2] 苏复义,周文,金文辉,等.鄂尔多斯盆地中生界成藏组合划分与分布评价[J].石油与天然气地质,2012,33(4):582-590.
Su Fuyi,Zhou Wen,Jin Wenhui,et al. Identification and distribution of the Mesozoic plays in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(4):582-590.

[3] 李健,吴智勇.深层致密砂岩气藏勘探开发技术[M].北京:石油工业出版社,2002.
Li Jian,Wu Zhiyong. Key techniques for exploration and production of deep tight sandstone gas reservoirs[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2002.

[4] Spencer C W. Geologic aspects of tight gas reservoir in the Rocky Mountain Regions[J]. JPT,1985,37(8):1308-1314.

[5] Spencer C W. Review of characteristics of low permeability gas reservoirs in Western United States[J]. AAPG Bulletin,1989,73(5):613-629.

[6] 赵澄林,陈丽华.中国天然气储层[M].北京:石油工业出版社,1999.
Zhao Denglin,Chen Lihua. Gas reservoir of China[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1999.

[7] 曾大乾,李淑贞.中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J].石油学报,1994,15(1):38-45.
Zeng Daqian,Li Shuzhen. Types and characteristics of permeability sandstone reservoirs in China[J]. Acta Petrolei Sinica,1994,15(1):38-45.

[8] 杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002.
Yang Junjie. Tectonic evolution and distribution in Ordos Basin[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2002.

[9] 何自新.鄂尔多斯盆地演化与油气[M].北京:地质出版社,2003.

He Zixin. The evolution and petroleum of Ordos Basion[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2003.

[10] 陈全红,李文厚,高永祥,等.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组深湖沉积与油气聚集意义[J].中国科学(D辑),2007,37(增刊1):39-48.
Chen Quanhong,Li Wenhui,Gao Yongxiang,et al. Deep lacustrine sediment of Triassic Yanchang Formation and implication to hydrocarbon accumulation in Ordos Basin[J]. Science in China(Series D),2007,37(S1):39-48.

[11] 赵靖舟,白玉彬,曹青,等.鄂尔多斯盆地准连续型低渗透-致密砂岩大油田成藏模式[J].石油与天然气地质,2012,33(6):811-827.
Zhao Jingzhou,Bai Yubin,Cao Qing,et al. Quasi-continuous hydrocarbon accumulation:a new pattern for large tight sand oilfields in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(6):811-826.

[12] 丁晓琪,张哨楠,周文,等.鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层特征及其成因探讨[J].石油与天然气地质,2007,28(4):491-496.
Ding Xiaoqi,Zhang Shaonan,Zhou Wen,et al. Characteristics and genesis of the Upper Paleozoic tight sandstone reservoirs in the northern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2007,28(4):491-496.

[13] 刘昊伟,郑兴远,陈全红,等.华庆地区长 6 深水沉积低渗透砂岩储层特征[J].西南石油大学学报(自然科学版),2010,32(1):21-26.
Liu Haowei,Zhen Xingyuan,Chen Quanhong,et al. Analysis on characteristics of deep-water sedimentary tight sandstone reservoir of Chang 6 in Huaqing area[J]. Journal of Southwest Petroleum University(Science & Thechnology Edition),2010,32(1):21-26.

[14] 唐海发,彭仕宓,赵彦超,等.致密砂岩储层物性的主控因素分析[J].西安石油大学学报,2007,22(1):59-63.
Tang Haifa,Pe Shi mi,Zhao Yanchao,et al. Analysis of main control factors of the physical property of tight sandstone reservoir[J]. Journal of Xi'an Petroleum University(Natural Science Edition),2007,22(1):59-63.

[15] 张哨楠.致密天然气砂岩储层:成因和讨论[J].石油与天然气地质,2008,29(1):1-10.
Zhang Shaonan. Tight sandstone gas reservoirs:their origin and discussion[J]. Oil & Gas Geology,2008,29(1):1-10.

[16] 纪友亮,张世奇,李红南,等.固态沥青对储层储集性能的影响[J].石油勘探与开发,1995,22(4):87-91.
Ji Youliang,Zhang Shiqi,Li Hongnan,et al. The effect of solid reservoir bitumen on reservoir quality[J]. Petroleum Exploration and Development,1995,22(4):87-91.

[17] 胡志志,付晓文,王廷栋,等.储层中的沥青沉淀带及其对油气勘探的意义[J].天然气地球科学,2007,18(1):99-103.
Hu Shouzhizhi,Fu Xiaowen,Wang Tingdong,et al. Bitumen-sealed belt in reservoirs and its implication to petroleum exploration[J]. Natural Gas Geoscience,2007,18(1):99-103.

(编辑 高 岩)