

我国鄂尔多斯盆地合水长8油藏储层特征及开发潜力

陈莹莹¹, 陈世加², 肖正录¹, 姚泾利³, 刘广林³, 王攀¹

¹西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都

²西南石油大学地球科学与技术学院, 油气藏地质及开发国家重点实验室, 四川 成都

³中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安
Email: 740844057@qq.com, chensj1964@swpu.edu.cn, 154835727@qq.com, yjl_cq@petrochina.com.cn, 89409960@qq.com, 1414101963@qq.com

收稿日期: 2020年9月25日; 录用日期: 2020年10月8日; 发布日期: 2020年10月15日

摘要

本文针对鄂尔多斯盆地合水地区长8油藏北部富集好而南部富集差, 油藏向南扩展困难的问题, 运用大量的现场岩心资料、测井解释成果、薄片镜下鉴定和储层物性测试数据, 对合水南北长8段储层的岩石学特征、孔喉结构特征、物性特征和成岩作用等进行了对比分析, 明确了合水南北长8段储层含油性差异的控制因素。结果表明, 研究区长8段储集层整体物性偏差, 属于特低孔-超低渗储层, 主要发育粒间孔和长石溶孔, 见少量晶间孔和微裂缝; 由北向南石英、岩屑含量逐渐增大, 而长石含量逐渐减少; 较合水南部, 合水北部的孔喉结构和储层物性更好。在此基础上, 总结和分析了研究区成藏控制因素, 显示油藏在平面上的分布与优质储层和长石溶蚀相在平面上的分布具有密切联系, 合水南部不具有连片开发的潜力, 但小规模甜点区仍可作为下一步的开发目标。

关键词

合水地区, 长8段, 储层特征, 控制因素, 开发潜力

Reservoir Property and Exploration Potential Analysis of Chang 8 Member in the Heshui Area, Ordos Basin, China

Yingying Chen¹, Shijia Chen², Zhenglu Xiao¹, Jingli Yao³, Guanglin Liu³, Pan Wang¹

¹School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

²State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

文章引用: 陈莹莹, 陈世加, 肖正录, 姚泾利, 刘广林, 王攀. 我国鄂尔多斯盆地合水长8油藏储层特征及开发潜力[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(10): 887-896. DOI: 10.12677/ag.2020.1010087

³National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low Permeability Oil and Gas Fields, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an Shaanxi
Email: 740844057@qq.com, chensj1964@swpu.edu.cn, 154835727@qq.com, yjl_cq@petrochina.com.cn, 89409960@qq.com, 1414101963@qq.com

Received: Sep. 25th, 2020; accepted: Oct. 8th, 2020; published: Oct. 15th, 2020

Abstract

The exploration of Chang 8 member of Yanchang formation in the north of Heshui area has made a great breakthrough, forming a contiguous oil-bearing area. But the exploration in the south of Heshui area is poor, and the reservoir is difficult to expand to southward. For this problem, this paper compares and analyzes the petrological characteristics, pore throat structure characteristics, physical characteristics and diagenesis of the Chang 8 reservoir in north and south of Heshui area, and identifies the accumulation controlling factors, basing on a large number of core observation, well logging interpretation, microscopic identification of thin sections and reservoir physical property. The results show that the overall physical properties of the Chang 8 reservoir in the study area are deviated, which belongs to an ultra-low porosity and ultra-low permeability reservoir. There are mainly intergranular and feldspar dissolution pores, and a few intercrystalline pores and microcracks. From north to south, the content of quartz and cuttings increased, while the content of feldspar decreased gradually. Comparing to north of Heshui area, the pore-throat structure and reservoir physical properties are better than those in the south of Heshui area. On this basis, the control factors of reservoir formation in the study area are summarized and analyzed, showing that the distribution of oil is closely related to the high-quality reservoir and diagenetic facies. There is no potential for continuous development in the south of Heshui area, but part of the dessert area can still be used as the next development target.

Keywords

Heshui Area, Chang 8 Member, Reservoir Characteristics, Controlling Factors, Developing Potential

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

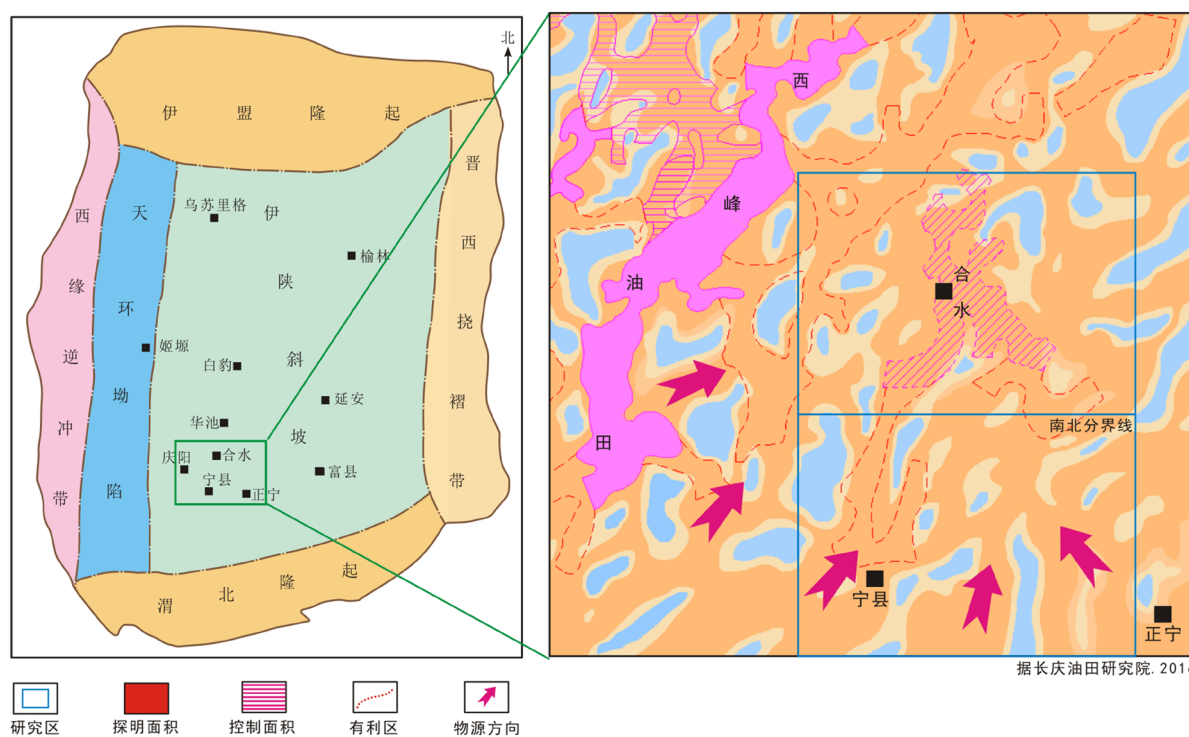
1. 引言

鄂尔多斯盆地陇东地区延长组油气藏为典型的低孔低渗岩性油气藏, 其长 8 油藏储层致密, 非均质性强, 成岩作用强烈且类型多样, 在多个区块出现油水差异聚集的现象[1] [2] [3], 合水油田就是其中之一。现有的勘探结果显示合水油田长 8 油藏在平面上的分布差异较大, 以盘窑为界, 北部的勘探效果很好, 发现了连片的油气富集区, 而南部的勘探却不理想, 油田向南扩展困难(图 1)。目前, 学者们研究发现其南北沉积体系呈不对称行[4] [5]、储层孔渗透平面分布变化大, 平面非均质性强[6] [7] [8], 油藏呈现差异性分布特征, 可能受沉积相带展布、储层物性特征等因素影响[9] [10], 而针对合水南北油藏在平面分布上具有差异性的现象未能做出合理解释。本文在前人认识的基础上, 综合运用岩心、测井、薄片镜下鉴定和储层物性测试数据等资料, 创造性地对合水南北长 8 段的储层性质进行了对比研究, 分析了合水南北长 8 段储集层的岩石学特征、孔喉结构特征和物性特征, 明确了合水南北长 8 段储集层含油性差异的控制因素, 并对合水南部的开发潜力进行了评估。该成果对研究区下一步的油气勘探具有重要的借鉴和指示意义。

2. 区域地质概况

鄂尔多斯盆地为我国第二大内陆盆地，蕴藏的石油天然气资源量十分丰富。延长组作为鄂尔多斯盆地最重要的含油层系组，一直以来是各方学者和石油企业的研究热点和开发重点[11] [12] [13]。合水地区位于鄂尔多斯盆地次级构造单元伊陕斜坡的西南部，北抵庆城、南达宁县、西临西峰、东至盘客，面积约 3000 km²，其上三叠统延长组属于鄂尔多斯盆地西南物源辫状河三角洲沉积体系，主要发育一套三角洲前缘陆相碎屑岩沉积，水下分流河道和河口砂坝为其主要的油气储集体[14] [15] [16]。前人按岩性、电性及含油性将延长组自下而上共分为 10 个油层组，各油层组均不同程度含有油气[17] [18] [19]。其中长 8 油层组为延长组主力产油层之一，先后在西峰、陕北、姬源、华庆等地区发现大规模油气藏[20] [21] [22]。

研究区紧邻西峰油田，按照西峰油田的油气规模，研究区不缺油源。合水地区属于西南物源和南部物源的混源区，油藏沿南北向的水下分流河道呈条带状展布，在南部分叉为宁县和正宁等多个分支(图 1)。目前的勘探结果显示，以盘客为界，合水北部的油井沿河道砂体集中分布，而合水南部的勘探效果较差，即便是沿着河道砂体也少见出油井，油藏向南扩展困难。



据长庆油田研究院, 2016

Figure 1. Location and reservoir distribution of the study area

图 1. 研究区位置与油藏分布图

3. 储层特征

3.1. 储层岩石学特征

储层的岩矿特征是决定储层成岩作用、孔隙类型和储层物性的基础。岩石薄片镜下鉴定结果表明(表 1 和表 2): 合水地区长 8 储集层岩性以岩屑长石砂岩为主，其次为长石岩屑砂岩；填隙物成分中水云母、绿泥石、铁方解石和硅质的占比较大，占到填隙物总量的 87.68%；碎屑颗粒多为细粒 - 中细粒结构，粉砂质结构次之，分选性以中、好为主，磨圆度中等。分别统计合水南北区块样品的岩石学特征发现，合水南北长 8

储集层的砂岩碎屑成分相差不大,但储层填隙物含量有明显的差异。合水北部相比合水南部来说绿泥石含量较高而铁方解石含量较低,反映出合水南北为同一物源,但后期受成岩作用的影响不同。

Table 1. Statistical table of sandstone clastic composition in Chang 8 member, Heshui area

表 1. 合水地区长 8 段砂岩碎屑成分统计表

地区	石英/%	长石/%	岩屑/%				样品数(块)
			火成岩	变质岩	沉积岩	总量	
合水北	30.13	31.36	8.29	12.13	0.1	25.26	124
合水南	30.37	29.57	9.21	11.5	0.14	24.78	59
合水	30.19	30.86	8.58	11.58	0.1	25.02	183

Table 2. Statistical table of interstitial material content in Chang 8 member of Heshui area

表 2. 合水地区长 8 段储层填隙物含量统计表

地区	填隙物含量/%										样品数(块)
	高岭石	水云母	网状粘土	绿泥石膜	方解石	铁方解石	白云石	铁白云石	硅质	长石质	
合水北	0.47	3.05	0.08	3.21	0.41	4.58	0.01	0.09	1.33	0.12	124
合水南	0.83	4.05	0.03	2.25	0.58	5.56	0.07	0.21	1.28	0.13	59
合水	0.59	3.39	0.07	2.96	0.48	4.87	0.03	0.12	1.31	0.12	183

前人研究认为,沉积岩岩屑一般表现为塑性,含量越高储层物性越差,而长石含量较高的储层物性相对较好[23][24];早期绿泥石的发育对原生粒间孔的保存起到有利的作用,而铁方解石往往呈亮晶状充填于颗粒之间的孔隙中,不利于原生孔隙的保存[25][26]。故合水北部的物性整体上要好于合水南部。

3.2. 储集空间特征

储集空间的发育程度及配置关系决定了储层的储集性能及渗流能力。通过扫描电镜和铸体薄片镜下鉴定表明(表 3),研究区长 8 储层砂岩孔隙类型主要为粒间孔和长石溶孔,见少量晶间孔和微裂缝,面孔率达到 3.08%。由于储层成岩作用较强,孔隙往往受到成岩作用的改造,大多为原生残余粒间孔。镜下观察显示,长石常沿解理缝选择性溶蚀呈现不规则形态,部分长石溶孔与粒间孔连通,从而形成较大的孔隙。合水南北储层孔隙类型相同,但所占比例有所差别:合水南部粒间孔和长石溶孔共占比 2.41%,面孔率为 2.65%;而合水北部粒间孔和长石溶孔共占比 3.0%,面孔率为 3.21%。总体而言,合水北的储集空间发育程度较合水南部更好。

Table 3. Reservoir pore types in Chang 8 member of Heshui area

表 3. 合水地区长 8 段储层孔隙类型表

地区	粒间孔/%	长石溶孔/%	岩屑溶孔/%	晶间孔/%	微裂隙/%	面孔率/%	样品数(块)
合水北	2	1	0.16	0.02	0.02	3.21	88
合水南	1.52	0.89	0.18	0.02	0.01	2.65	32
合水	1.9	0.97	0.16	0.02	0.02	3.08	120

岩石压汞测定是目前用来描述与揭示储层微观孔隙结构特征的主要技术手段[27][28]。对合水地区长

8段70块样品的压汞资料分析表明(图2),合水地区长8段储层普遍表现为排驱压力较低的特征,但南北区块存在一定差异。合水北部平均中值半径为 $0.16\ \mu\text{m}$,平均排驱压力为 $1.23\ \text{MPa}$,最大进汞饱和度为 74.07% ,退汞效率为 23.31% ;而合水南部对应的值分别为 $0.12\ \mu\text{m}$ 、 $1.68\ \text{MPa}$ 、 72.86% 和 22.11% 。总体来讲,合水北部较合水南部排替压力低、中值半径大、孔隙结构好。

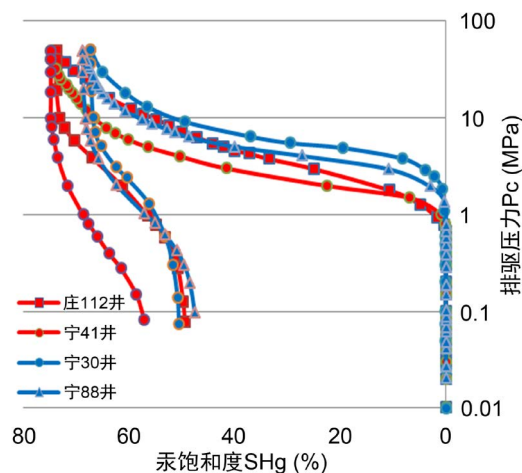


Figure 2. Comparison of mercury injection curves of Chang 8 reservoir in the north (blue) and south (red) of the Heshui area

图2. 合水南(蓝)与合水北(红)长8储层压汞曲线对比图

3.3. 储层物性特征

储层物性是表征储层储集、渗透性能的指标,直接反映储层的好坏。对合水地区总共526块(北部306块,南部220块)样品的物性数据统计发现,合水地区长8段储集层孔隙度为 $0.18\% \sim 13.6\%$,平均为 7.14% ,渗透率为 $0.016 \sim 1.21\ \text{mD}$,平均为 $0.23\ \text{mD}$,依据鄂尔多斯盆地延长组物性分级标准[29][30],属于特低孔-超低渗储层。分区统计结果表明(图3),合水北部地区长8储层孔隙度为 $0.23\% \sim 13.6\%$,平均为 7.63% ,渗透率为 $0.020 \sim 1.21\ \text{mD}$,平均为 $0.29\ \text{mD}$;而合水南部地区孔隙度为 $0.18\% \sim 13.3\%$,平均为 6.37% ,渗透率为 $0.016 \sim 0.97\ \text{mD}$,平均为 $0.13\ \text{mD}$,合水南部的孔渗条件较合水北部差。

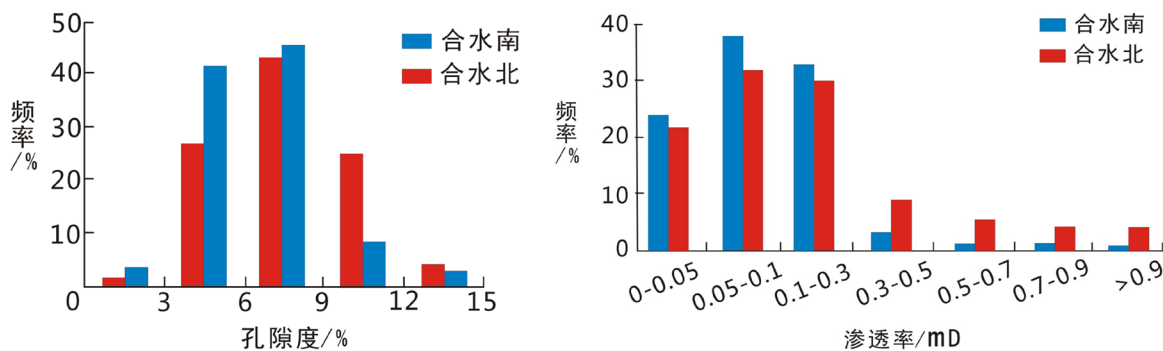


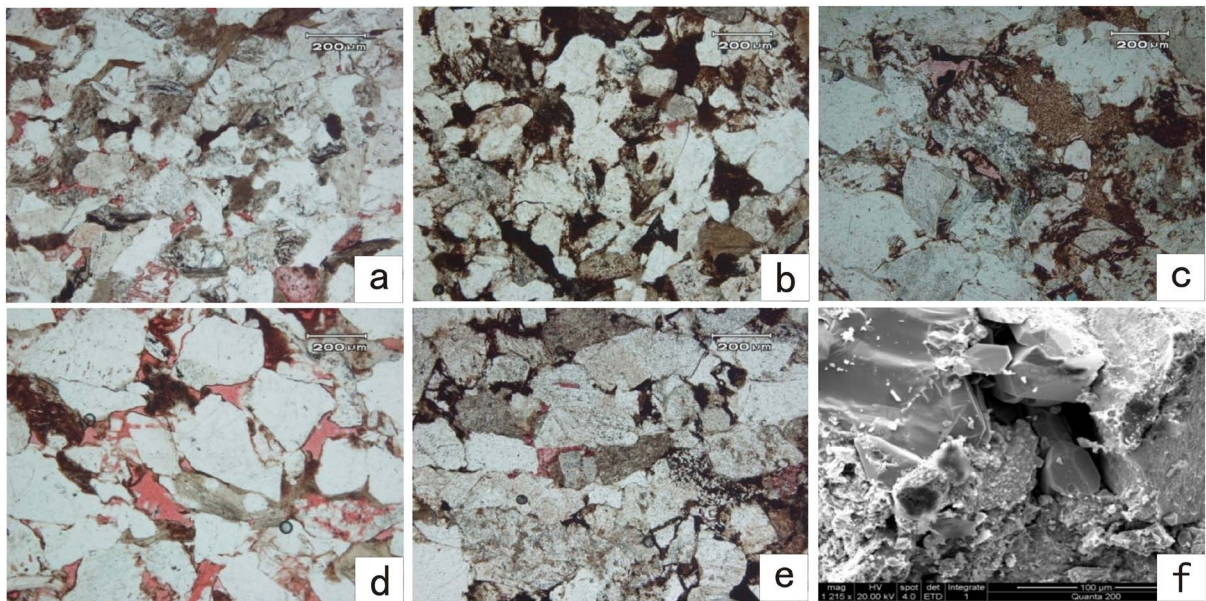
Figure 3. Histogram of pore-permeability distribution in the north and south of the Heshui area

图3. 合水南北孔渗分布直方图

3.4. 成岩作用

搞清楚储层各种成岩作用,对揭示研究区油气富集机理及预测有利油气富集场所有着重要的意义。

通过岩心观察与铸体薄片、扫描电镜分析, 合水地区长 8 段储集层发育有多种成岩作用类型: 压实作用(图 4(a))导致部分塑性颗粒发生变形, 呈线形或凹凸形接触, 刚性颗粒发生破裂, 产生微裂隙; 石英和长石自生加大以及泥质和碳酸岩胶结常见, 绿泥石呈薄膜状围绕矿物颗粒环边生长(图 4(c)~(f)); 偏光镜下通常会看到有碳酸盐和粘土矿物交代碎屑颗粒, 使颗粒边缘变为凹凸状, 也可以见到颗粒内部有方解石呈零星点状分布(图 4(b), 图 4(e)); 长石和岩屑等碎屑遭受到不同程度的溶解改造形成多种类型的次生孔隙(图 4(a), 图 4(b))。



(a) 宁 31 井, 1744.8 m, 长 8₁, 云母塑性变形和长石溶孔; (b) 宁 37 井, 1536.86 m, 长 8₁, 自生长石充填和方解石胶结; (c) 宁 51 井, 1583.44 m, 长 8₁, 方解石胶结; (d) 庄 1171819.75 m, 长 8₁, 长石溶孔; (e) 庄 55 井, 1963 m, 长 8₁, 长石交代碎屑; (f) 宁 137 井, 1746.62 m, 长 8₁, 石英自身加大。

Figure 4. Reservoir diagenesis in Chang 8 member of Heshui area

图 4. 合水地区长 8 储层成岩作用

合水地区长 8 储层普遍发育绿泥石环边, 从成岩作用之间的接触和截断关系来看, 绿泥石环边形成于溶蚀作用和石英加大边之前, 既能抑制压实作用和其他胶结物的形成, 还能在保存原生孔隙和形成较好的孔喉结构, 为优质储层形成的重要因素。铸体薄片显示长 8 储层中的长石溶孔极为发育, 部分视域范围内的长石溶孔占到长石颗粒总面积的 40%~85%, 可作为原油的主要储集空间。

4. 储层与含油性之间的关系

4.1. 储层物性对油藏的控制

根据以上储层特征的研究成果, 并参考长庆油田分公司勘探开发研究院对鄂尔多斯盆地延长组长 4 +5 - 长 8 油层组的储层综合评价标准[31], 将合水地区长 8 段储层划分为四个级别(图 5): I 类储层主要发育在研究区合水至盘客一带, 储集性能最好; II 类储层呈点状分布于合水、盘客、庆城一带, 向南逐渐减少, 储集性能较好; III 类储层在合水地区最为普遍, 储集性能差; IV 类储层主要发育在合水西南 - 东北向条带上, 储集性能最差。从储层的分布特征来看, 盘客以北主要为 I 类和 II 类储层, 而盘客以南主要为 III 类和 IV 类储层, 优质储层的分布与目前油藏的分布情况相吻合, 说明储层对油藏具有明显的控制作用。

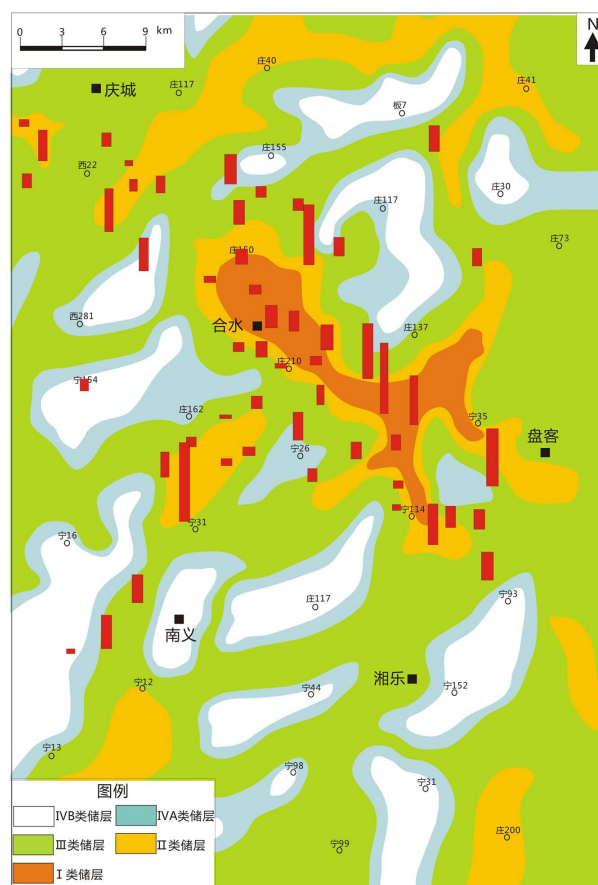


Figure 5. Comprehensive evaluation map of Chang 8 reservoir in Heshui area
图 5. 合水地区长 8 段储层综合评价图

4.2. 成岩相对油藏的控制

成岩相指的是成岩环境下岩石学、地球化学以及岩石物理学特征的总和，成岩相研究可以在沉积相研究之上更进一步地明确和储集能力有关的有利储集体，并以此来指导油气的勘探工作[32] [33]。根据上文对研究区成岩作用的认识，将研究区划分为绿泥石成岩相、碳酸盐成岩相、水云母成岩相和长石溶蚀相等主要的成岩相(图 6)。其中绿泥石相和长石溶蚀相的广泛存在对储层有利，而方解石和铁方解石的充填与胶结作用导致储层原生残余孔隙大量减少，对储层的形成不利。成岩相的平面分布特征显示绿泥石相在研究区普遍发育，与油藏分布之间的关系不紧密，而长石溶蚀相与油藏的分布有较好的对应关系。故可以用长石溶蚀相与有利储层的分布特征一起划定合水地区长 8 储集层的有利开发区。

4.3. 开发潜力分析

上述研究结果表明，合水油田盘客以北地区储层大面积发育长石溶蚀相，其储集性较好，I、II 类优质储层的分布面积大、连通性较好，容易形成大规模的油气富集区，在庄 40 和庄 41 井片区长石溶蚀相大片发育，储集性能较好，仍然具有精细化布井的价值。而盘客以南地区储层只有小面积发育长石溶蚀相，其优质储层分布较为分散，I、II 类储层面积较小，不具有可连片开发的潜力。但合水南部依然有呈点状分布的储层甜点区，如宁 12 井、庄 200 井、宁 99 井等井区长石溶蚀相发育，属于 II 类储层区，因此可以作为下一步小规模油藏的开发目标。

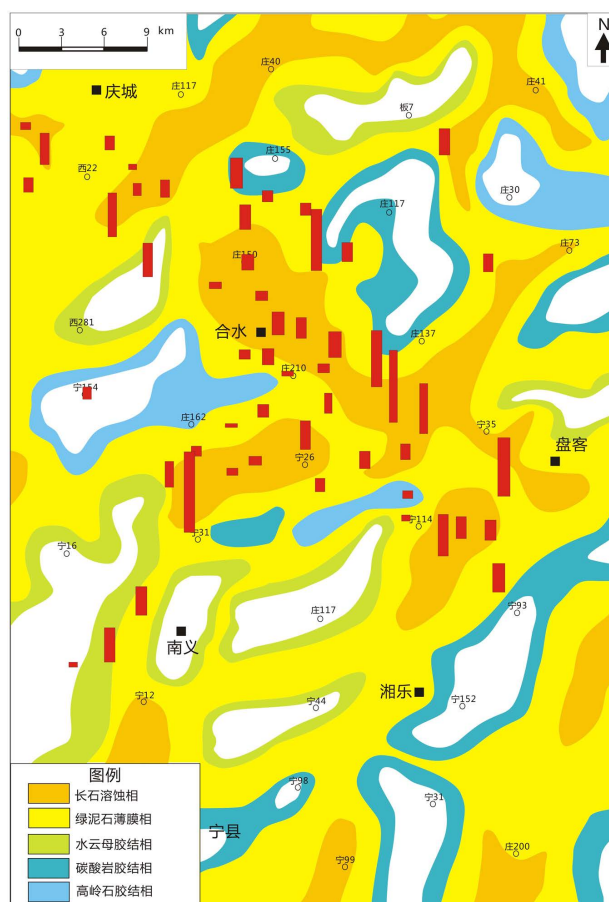


Figure 6. Diagenetic facies map of Chang 8 reservoir in Heshui area
图 6. 合水地区长 8 段储层成岩相图

5. 结论

(1) 合水地区长 8 段储层岩性以岩屑长石砂岩为主；填隙物成分中水云母、绿泥石、铁方解石和硅质的占比较大；碎屑颗粒多为细粒 - 中细粒结构，分选性以中、好为主，磨圆度中等；主要发育粒间孔和长石溶孔，见少量晶间孔和微裂缝；储层普遍表现为排驱压力较低的特征，整体属于特低孔 - 超低渗储层。

(2) 合水南北的储层特征差异明显。相比合水北部，合水南部的绿泥石含量较低、铁方解石含量较高、面孔率较小、孔喉结构和物性较差，主要为 III 类和 IV 类储层。而合水北部主要为 I 类和 II 类储层，储层相对较好。绿泥石相和长石溶蚀相为研究区的有利成岩相，优质储层和成岩相的分布对油藏具有明显的控制作用。

(3) 合水北部优质储层的分布面积大、连通性较好，在庄 40 和庄 41 井片区仍然具有精细化布井的价值；合水南部的优质储层和成岩相分布较为分散、面积较小，不具有可连片开发的潜力，但宁 12 井、庄 200 井、宁 99 井等井区发育的小规模甜点依然可以作为下一步的开发目标。

基金项目

感谢国家自然科学基金(编号 41502146, 41872165)和国家重大科技攻关项目(编号 2017ZX05001002-003)联合资助。

参考文献

- [1] 潘静文, 文志刚, 刁帆, 等. 西峰油田庄 36 井区长 81 储层特征及评价[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(1): 40-45.
- [2] 张瑞, 孙卫, 任大忠, 等. 华庆地区延长组长 8 砂岩储层沉积与成岩作用[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(4): 18-21.
- [3] 陈世加, 张纪智, 姚泾利, 等. 鄂尔多斯盆地华庆地区长 8 油藏局部油水分布复杂成因分析[J]. 石油实验地质, 2012, 34(3): 281-284.
- [4] 李士春, 冯朝荣, 殷世江. 鄂尔多斯盆地南部中生界延长组沉积体系与油气富集[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 79-83.
- [5] 刘化清, 袁剑英, 李相博. 鄂尔多斯盆地延长期湖盆演化及其成因分析[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 52-56.
- [6] 高永亮, 文志刚. 鄂尔多斯盆地合水油田长 8 油层组储层宏观非均质特征研究[J]. 长江大学学报(自科版), 2016, 13(5): 10-14.
- [7] 樊婷婷, 柳益群, 黄进腊, 等. 合水地区长 8 储层成岩作用及对储层物性的影响[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2010, 40(3): 481-487.
- [8] 朱聪, 施冬, 张春生, 等. 鄂尔多斯盆地合水地区长 8 段储层岩矿特征及成岩作用研究[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2011, 8(2): 50-52.
- [9] 陈世加, 路俊刚, 姚泾利, 等. 鄂尔多斯盆地华庆地区长 8 油层组成藏特征及控制因素[J]. 沉积学报, 2012, 30(6): 1130-1131.
- [10] 肖正录, 陈世加, 廖建波, 等. 河道构型单元及其对油藏的控制作用——以鄂尔多斯盆地华庆地区长 8 段储集层为例[J]. 新疆石油地质, 2018, 39(5): 524-529.
- [11] Lu, Z.X., Chen, S.J., Li, Y., He, Q.B., Zhang, J.Y. and Zhang, H. (2018) Geochemical Characteristics and Origins of the Crude Oil of Yanchang Formation Chang 2 in Ansai Area, Erdos Basin, China. *Petroleum Science and Technology*, **36**, 1419-1425. <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1482327>
- [12] Lu, Z.X., Chen, S.J., He, Q.B., Li, Y., Zhang, J.Y. and Wu, Q.B. (2018) Relationship between Methylphenanthrene Distribution and Organic Matter Maturity a Case Study of Yanchang Formation Chang 7 Source Rocks Erdos Basin, China. *Petroleum Science & Technology*, **36**, 1718-1724. <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1506808>
- [13] 王艳茹, 刘洛夫, 杨丽萍, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 烃源岩有机碳测井评价[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(4): 78-82.
- [14] 朱筱敏, 邓秀芹, 刘自亮, 等. 大型拗陷湖盆浅水辫状河三角洲沉积特征及模式: 以鄂尔多斯盆地陇东地区延长组为例[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 19-28.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=DXQY201302005&DbName=CJFQ2013>
- [15] Xiao, Z.L., Chen, S.J., Li, Y., et al. (2019) The Influence of Bitumen on Reservoir Properties and Hydrocarbon Accumulation in the Chang-8 Member of Huaqing Area, Ordos Basin, Chin. *Petroleum Science and Technology*, **37**, 103-109. <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1511589>
- [16] 邓秀琴, 付金华, 姚泾利, 等. 鄂尔多斯盆地中及上三叠统延长组沉积相与油气勘探的突破[J]. 古地理学报, 2011, 13(4): 443-447. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=GDLX201104011&DbName=CJFQ2011>
- [17] Zhang, Z.Y., Chen, S.J., Yang, H., et al. (2016) Tight Oil Accumulation Mechanisms of Triassic Yanchang Formation Chang 7 Member, Ordos Basin, China. *Petroleum Exploration and Development*, **43**, 590-599. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(16\)30075-1](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(16)30075-1)
- [18] 曾源, 陈世加, 李士祥, 等. 鄂尔多斯盆地正宁地区长 8 油层组储层特征[J]. 岩性油气藏, 2017, 29(6): 32-42.
- [19] 雷俊杰, 陈世加, 路俊刚. 鄂尔多斯盆地黄陵地区长 6 油气成藏条件与主控因素[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2017, 32(5): 7-13.
- [20] 任战利, 李文厚, 梁宇, 等. 鄂尔多斯盆地东南部致密油成藏条件及主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(2): 190-198.
- [21] 董君妍, 陈世加, 邹贤利, 等. 鄂尔多斯盆地吴起——高桥地区延长组重排类藿烷分布特征及成因探讨[J]. 石油实验地质, 2017, 39(6): 834-841.
- [22] 屈红军, 杨先超, 曹金舟, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组深层油气聚集规律[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 243-247.
- [23] 钟大康, 周立建, 孙海涛, 等. 储层岩石学特征对成岩作用及孔隙发育的影响——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 890-899.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=SYYT201206010&DbName=CJFQ2012>
- [24] 刘广林, 肖正录, 李勇, 等. 华池地区长 81 储层特征及其控制因素[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2018,

- 20(5): 5-10.
- [25] Dutton, S.P. (2009) Calcite Cement in Permian Deep-Water Sandstones, Delaware Basin, West Texas: Origin, Distribution, and Effect on Reservoir Properties. *AAPG Bulletin*, **93**, 765-787. <https://doi.org/10.1306/01280807107>
- [26] 周晓峰, 王建国, 兰朝利, 等. 鄂尔多斯盆地延长组绿泥石膜的形成机制[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(4): 20-28.
- [27] Purcell, W.R. (1949) Capillary Pressures-Their Measurement Using Mercury and the Calculation of Permeability Therefrom. *Journal of Petroleum Technology*, **1**, 39-48. <https://doi.org/10.2118/949039-G>
- [28] Lai, J., Wang, G.W., Fan, Z.Y., *et al.* (2016) Insight into the Pore Structure of Tight Sandstones Using NMR and HPMT Measurements. *Energy & Fuels*, **30**, 10200-10214. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01982>
- [29] 赵靖舟, 吴少波, 武富礼. 论低渗透储层的分类与评价标准——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 28-31.
- [30] 杨秋莲, 李爱琴, 孙燕妮, 等. 超低渗储层分类方法探讨[J]. 岩性油气藏, 2007(4): 51-56.
- [31] 淡卫东, 程启贵, 牛小兵, 等. 鄂尔多斯盆地重点含油区块长 4+5-长 8 油层组低渗透储层综合评价[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(8): 48-53.
- [32] Bahrami, F., Moussavi, H.R., Khanehbad, M., *et al.* (2017) Identification of Pore Types and Pore Facies for Evaluating the Diagenetic Performance on Reservoir Quality: A Case Study from the Asmari Formation in Ramin Oil Field, SW Iran. *Geosciences Journal*, **21**, 565-577. <https://doi.org/10.1007/s12303-016-0014-0>
- [33] Khalifa, M.A. and Morad, S. (2015) Impact of Depositional Facies on the Distribution of Diagenetic Alterations in the Devonian Shoreface Sandstone Reservoirs, Southern Ghadamis Basin, Libya. *Sedimentary Geology*, **329**, 62-80. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.09.003>