

[引著格式] 淡卫东, 汪伶俐, 尹洪荣, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 油层组储层微观孔隙结构类型及特征 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (11+12): 1~6.

鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 油层组储层 微观孔隙结构类型及特征

淡卫东, 汪伶俐, 尹洪荣, 张振红
辛红刚, 张三, 李成

(中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 710018)

[摘要] 储层微观孔隙结构是决定储层储集及渗流特征的关键因素, 分析其成因类型及分布规律, 对深入研究储层特征差异及预测优质储层具有重要意义。通过分析姬塬地区长 6 油层组储层微观孔隙结构特征, 结合沉积及成岩作用, 将该区长 6 油层组储层孔隙结构分为 6 种成因类型, 不同类型其储层孔隙结构、几何形态、润湿性、储集物性及渗流等特征不同。不同孔隙结构类型是由不同沉积、成岩作用导致, 通过研究成岩相分布, 可以预测不同孔隙结构类型平面分布及其相应的储层特征, 为石油勘探开发提供依据。

[关键词] 孔隙结构; 长 6 油层组; 姬塬地区; 鄂尔多斯

[中图分类号] TE122.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 11+12-0001-06

姬塬地区长 6 油层组是鄂尔多斯盆地重要的含油层系, 具有纵向多油藏叠合、横向复合连片的特征。但是, 近年来石油勘探评价及开发实践表明, 姬塬地区长 6 油层组不同区块油藏特征差异明显。笔者认为, 除砂体规模、成藏动力、运移通道及聚集方式等差异外, 储层的微观孔隙结构差异及其引起的储集、渗流等储层特征差异亦是造成不同区块成藏特征存在差异的重要原因。因此, 研究该区长 6 油层组储层微观孔隙特征及其成因类型与分布规律, 对于进一步揭示姬塬长 6 油层组不同区块储层特征和成藏特征差异具有重要意义。

1 储层孔隙结构成因类型

储层孔隙结构的研究与表征是储层研究的一项核心内容^[1,2]。储层现今孔隙结构是在沉积作用基础上经过复杂的差异成岩作用而形成^[3~6]。笔者通过深入分析姬塬地区长 6 油层组储层孔隙结构特征及其与成岩作用的关系, 将长 6 油层组储层总结为以下 6 种孔隙结构成因类型 (图 1)。

1) 绿泥石膜残余粒间孔型 该类储层由于绿泥石膜发育, 增加了颗粒抗压实性, 阻止了石英次生加大, 使得原始粒间孔得以较好的保存, 储层粒间孔极为发育。

2) 溶孔发育型 该类储层典型特征是溶蚀孔发育, 在姬塬地区长 6 油层组主要发育长石溶蚀孔, 其次为岩屑溶蚀孔, 溶孔一般大于 1%。

3) 残余粒间孔型 该类储层在经历早期压实后, 后期胶结作用不是很强烈, 基本不发育绿泥石薄膜, 且溶蚀作用也不发育, 孔隙类型主要为粒间孔。

4) 微裂缝发育型 由于构造作用和成岩作用储层中微裂缝发育, 储层渗透性明显好于其他类型。微裂缝的形成主要与构造作用和成岩作用有关。

5) 胶结致密型 储层在经历了早期压实后还发育一定量的残余粒间孔, 但后期胶结作用强烈造成

[收稿日期] 2015-05-12

[作者简介] 淡卫东 (1977-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事石油地质研究及油藏评价、生产相关的支撑工作, dwd_cq@pet-rochina.com.cn。

储层致密（姬塬地区长6油层组储层主要为高岭石胶结、碳酸盐胶结和水云母胶结）。

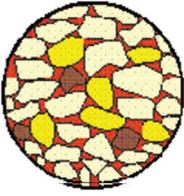
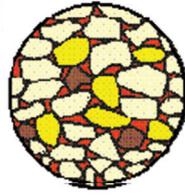
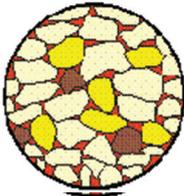
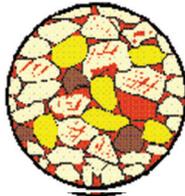
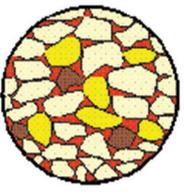
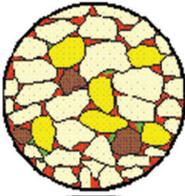
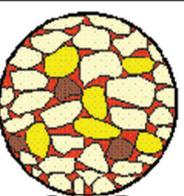
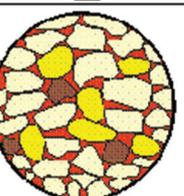
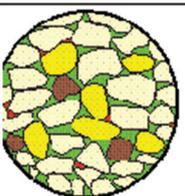
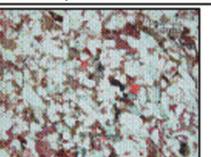
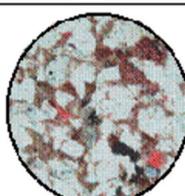
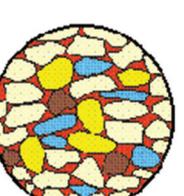
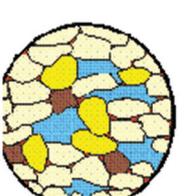
6种孔隙结构类型	沉积后原始状态	成岩后现今状态	典型井实例薄片	局部放大薄片照片
绿泥石膜残余粒间孔型			 W420井, 1787.5m	
溶孔发育型			 H39井, 2492.42m	
残余粒间孔型			 G37井, 2423.55m	
微裂缝发育型			 G129井, 2408.5m	
胶结致密型			 H39井, 2438.37m	
压实致密型			 H37井, 2472.1m	



图1 姬塬地区长6油层组储层6种成因类型孔隙结构图

6) 压实致密型 储层中云母等塑性组分含量高，经早期压实后变形，充填孔隙，致使储层致密，为压实致密型。储层中较高含量的塑性组分（主要是云母、千枚岩、板岩等片状矿物的岩屑）在压实作用下变形，堵塞孔隙使储层致密。

2 各成因类型孔隙结构的储层特征

2.1 基本特征

统计表明, 具有不同成因类型孔隙结构的储层, 其储集物性、渗流等储层特征不同, 导致其开发地质特征也明显不同。

微裂缝发育型储层由于微裂缝发育, 储层渗透率高 (表 1), 因此开发初期产量一般较高。但由于储层储集能力并未有大幅改善, 早期裂缝沟通供液能力强, 后期基质供液能力下降, 产量迅速降低。该类型储层水驱油效率一般并不高, (平均为 37.6%), 实际开发过程中表现为初期产量高而后递递减快, 该类型储层并不是长 6 油层组的主要产层类型。

表 1 姬塬地区长 6 油层组 6 种成因类型孔隙结构储层特征综合统计表

孔隙结构 成因 类型	图像孔隙				压汞实验		物性		润湿性	相渗 类型	最终 水驱油 效率/%	开发 特征
	孔隙 半径 / μm	比 表面 /1	形状 因子 /1	面孔率 /%	排驱 压力 /MPa	中值 半径 / μm	孔隙度 /%	渗透率 /mD				
绿泥石膜残余 粒间孔型	77.0	0.5	0.8	6.5	0.78	0.23	13.9	1.18	中性- 弱亲油	I 型 为主	61.9	初期产量高 稳产时间长
溶孔发育型	81.0	0.7	0.7	6.7	0.87	0.21	14.2	0.86	中性- 弱亲水	II 型 为主	54.5	初期产量高 稳产时间长
残余粒间 孔型	73.2	0.5	0.9	3.8	0.84	0.22	12.54	0.69	中性- 弱亲水	II 型 为主	51.1	初期产量较高 稳产时间较长
裂缝发育型	—	—	—	—	<0.5	—	—	>2	—	—	37.6	初期产量高 产量递减快
压实或胶结致 密型	24.5	0.9	0.5	1.9	>2	0.12	7.5	0.11	弱-偏 亲水	III 型	<45	初期产量低 稳产时间短

压实或胶结致密型储层物性差 (平均渗透率仅 0.11mD), 该类储层相渗特征差, 相渗曲线为 III 类 (图 2), 润湿性主要为弱-偏亲水, 水驱油效率在几种类型储层中最低 (小于 45%), 实际生产中开发效果差, 也不是姬塬地区长 6 油层组的主要产层类型。

残余粒间孔型、溶孔发育型和绿泥石膜残余粒间孔型储层是姬塬地区长 6 油层组有利的储层类型, 其中, 绿泥石膜残余粒间孔型储层最为有利, 残余粒间孔型、溶孔发育型储层次之。

2.2 特征差异分析

不同成因类型孔隙结构储层的储集、渗流及润湿性等特征的差异, 主要是因为储层孔隙结构几何形态 (规则程度, 由比表面、形状因子等参数表征) 及孔隙外壁特征 (如润湿性就与构成孔隙外壁的矿物颗粒性质有关) 等差异造成。

压实和胶结致密型储层, 由于孔隙结构致密, 造成其储集及渗流能力差, 相渗特征为最差的 III 类 (图 2), 从而导致生产能力差; 而微裂缝型储层, 由于微裂缝的发育导致储层渗流能力大大增强, 但储集能力在原有基质之上并未有很大改善, 因此生产时初期因为渗流能力好而产量高, 但后续因基质供液能力有限而产量快速下降。

绿泥石膜残余粒间孔型和溶孔发育型储层相比, 两者虽孔隙半径均较大, 面孔率均较高, 但两者储层特征仍存在较大差异。从统计来看 (表 1), 两类型储层面孔率相差并不大, 但绿泥石膜残余粒间孔型储层渗透性明显好于溶孔发育型储层。且相渗特征亦明显不同, 绿泥石膜残余粒间孔型相渗曲线类型多为 I 类, 而溶蚀孔型多为 II 类 (图 2)。此外, 溶孔发育型储层润湿性主要为中性-弱亲水, 而绿泥石膜残余粒间孔型储层润湿性则为中性-弱亲油。分析认为, 造成上述差异的原因主要还是微观孔隙结构的差异。溶孔发育型储层由于溶蚀作用导致颗粒形态复杂 (图 3、4), 孔隙比表面积大, 而形状因子

(表征孔隙几何形态规则程度的参数)小(表1),从而增加了储层中流体的渗流阻力,导致渗透率降低;而绿泥石膜残余粒间孔型储层,由于溶蚀作用不发育,孔隙外壁为碎屑颗粒较为平直的表面,因此孔隙形态比较规则(图3、4),比表面小而形状因子大,渗流阻力相对较小,渗透率将对较高。至于润湿性方面的差异,溶孔发育型储层岩石颗粒外绿泥石膜不发育,且中长石含量高^[7],其表面易吸附水膜,使储层润湿性为中性-弱亲水,相渗曲线上等渗点含水饱和度明显较高(一般60%左右);而绿泥石膜残余粒间孔型储层岩石颗粒表面发育一层绿泥石薄膜,吸附早期低熟油,造成颗粒表面润湿性偏向亲油,相渗上等渗点含水饱和度明显较低(一般50%左右)。

残余粒间孔型储层由于溶蚀作用不太发育,没有溶蚀增孔,此外绿泥石膜也不发育,不能起到抗压实和阻碍石英次生加大的作用,因此相对于绿泥石膜残余粒间孔型和溶孔发育型储层,其孔隙半径小,面孔率低,储集及渗流能力相对较差。

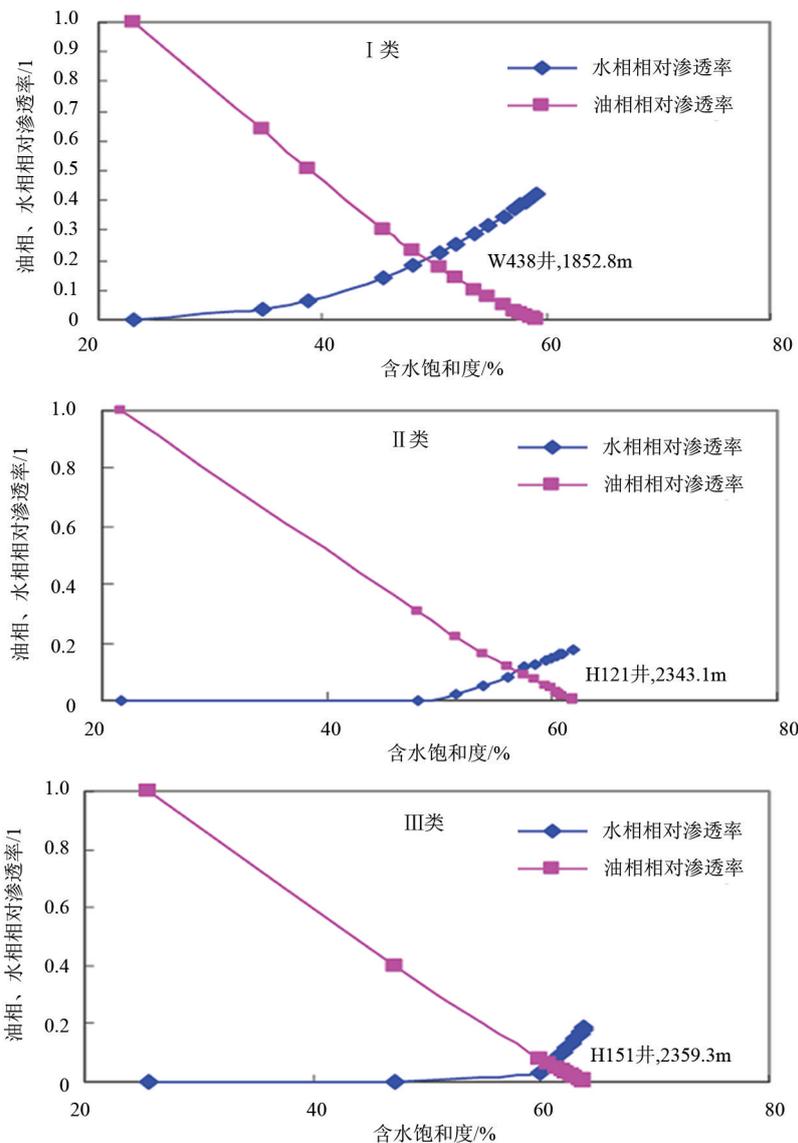


图2 姬塬地区长6油层组储层相渗曲线类型图

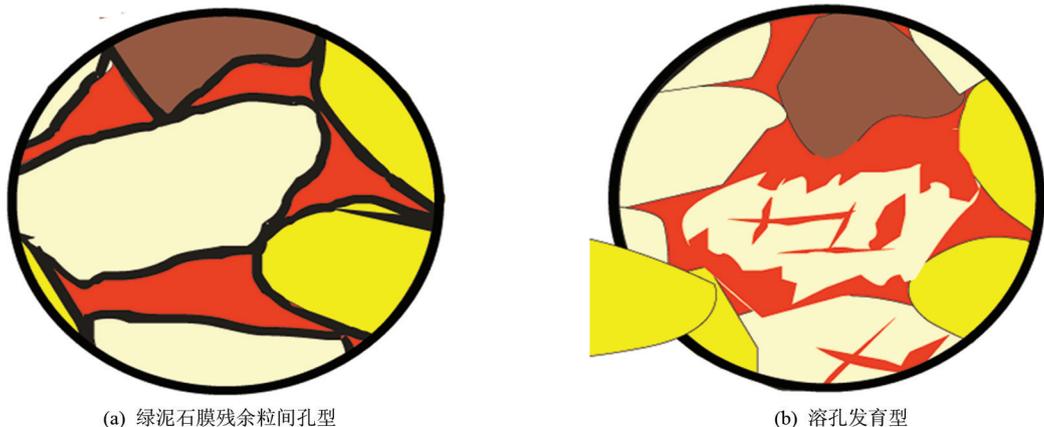
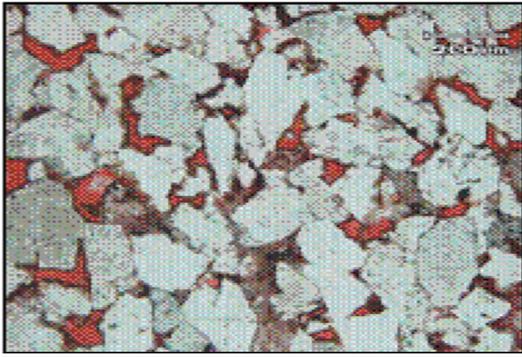
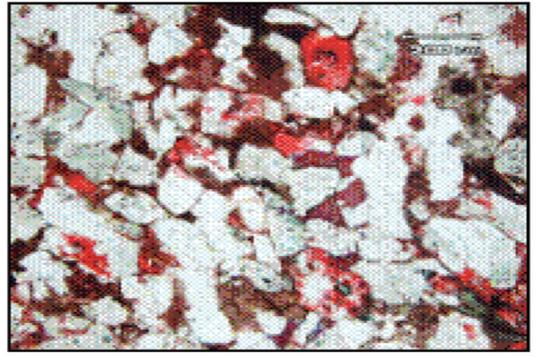


图3 绿泥石膜残余粒间孔型与溶孔发育型孔隙微观结构对比模式图



W420井, 1787.5m
(a) 绿泥石膜残余粒间孔型



H39井, 2492.42m
(b) 溶孔发育型

图 4 绿泥石膜残余粒间孔型与溶孔发育型铸体薄片照片

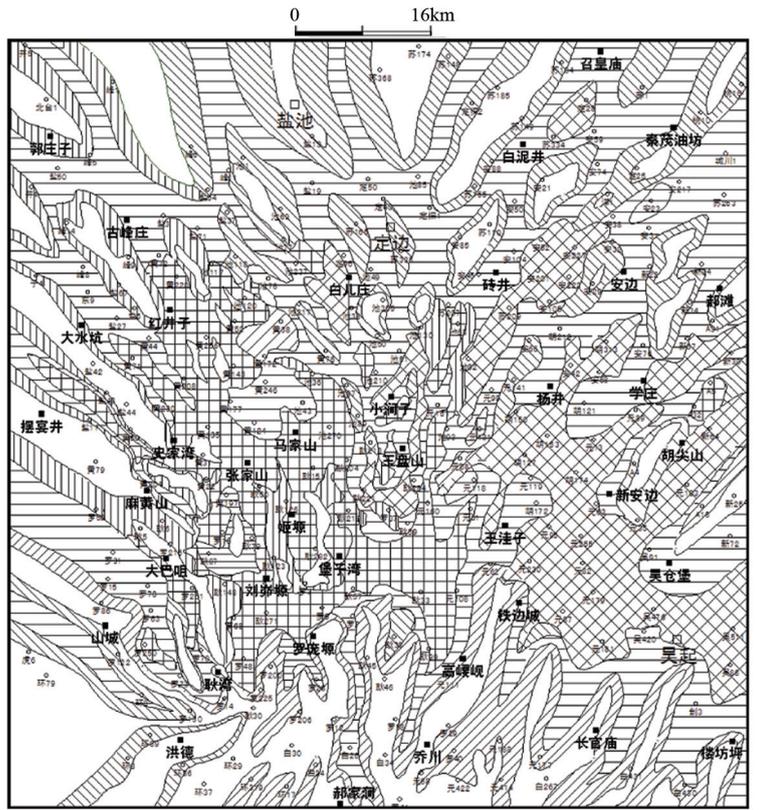
3 各成因类型孔隙结构的储层平面分布特征

不同类型的孔隙结构，其成因和分布主要受控于沉积、成岩作用。为了研究和预测不同类型孔隙结构的储层分布，对姬塬地区长 6 油层组成岩相进行了研究^[12]。首先针对姬塬地区长 6 油层组建立了成岩相半定量划分标准^[12]，结合主要胶结物、孔隙类型和面孔率平面分布，刻画了姬塬地区长 6 油层组层成岩相平面分布。

该区长 6 油层组成岩相平面分布规律性明显。绿泥石膜残余粒间孔相主要发育在姬塬地区东部地区的主砂带，长石溶蚀相主要发育在西部红井子-罗庞塬一带主砂带，残余粒间孔相在全区均有发育，水云母胶结相主要发育于姬塬地区南部的洪德-长官庙-楼坊坪一带，高岭石胶结相主要发育于姬塬北西部古峰庄、马家山等地区，碳酸盐胶结相主要发育在北部地区砂带的侧翼或局部主砂带上（图 5）。

不同成岩相形成相应类型孔隙结构的储层。对于微裂缝（主要指微观裂缝）型储层，其成因与构造、沉积等多种因素有关^[13]，不能通过成岩相来预测其分布，目前尚无其他有效预测方法。但该类型孔隙在储层中占比较少，对勘探开发生产影响不大。

从成岩相来看，姬塬地区长 6 油层组东西、南北差异明显。总体东部以发育绿泥石膜粒间孔相为最大特点，而西部以发育长石溶蚀相为最大特点，这也是造成姬塬地区长 6 油层组东部储层物性总体好于西部（图 6、7），润湿性及相渗、水驱等渗流特征亦差异较大的重要原因。



图例
 绿泥石膜残余粒间孔相 长石溶蚀相 残余粒间孔相 水云母胶结相 铁方解石胶结相 高岭石胶结相 地名

图 5 姬塬地区长 6 油层组成岩相分布图

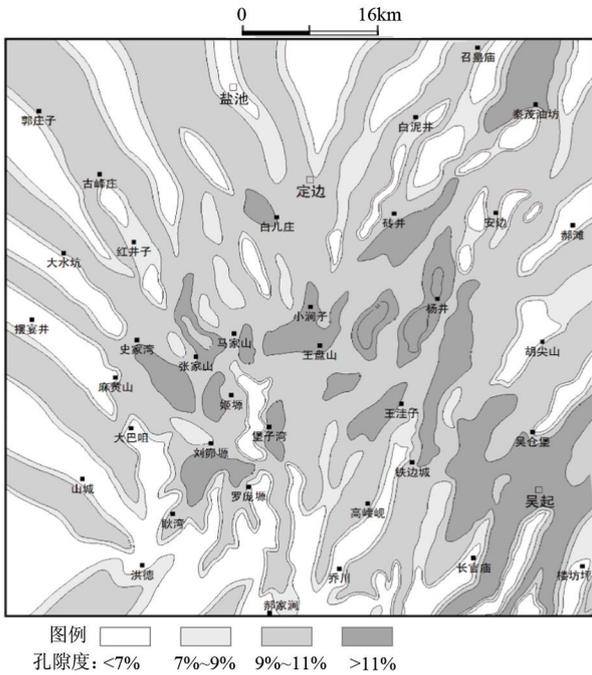


图 6 姬塬地区长 6 油层组孔隙度平面图

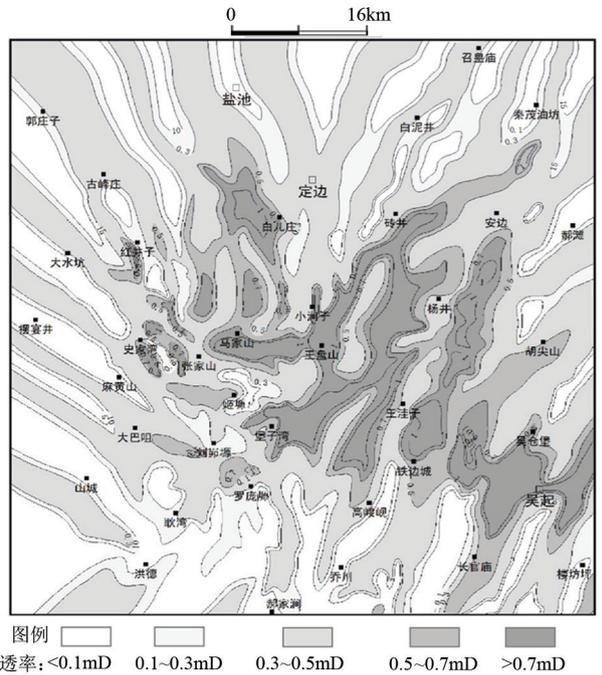


图 7 姬塬地区长 6 油层组渗透率平面图

4 结论

- 1) 姬塬地区长 6 油层组储层发育 6 种成因类型的孔隙结构, 即: 绿泥石膜残余粒间孔型、溶孔发育型、残余粒间孔型、压实致密性、胶结致密性和微裂缝发育型。
- 2) 不同成因类型孔隙结构储层在孔隙结构形态、润湿性及渗流特征方面特征明显不同, 其中绿泥石膜残余粒间孔型和溶孔发育型是最好的类型, 但两者储层特征也存在明显差异。
- 3) 沉积、成岩作用差异形成储层孔隙结构差异, 不同成因类型孔隙结构与成岩相直接相关, 通过刻画成岩相平面分布, 预测孔隙结构的成因类型、分布及储层的相关特征, 为生产提供依据。

[参考文献]

[1] 罗蛰潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.

[2] 王瑞飞, 陈明强, 孙卫. 鄂尔多斯盆地延长组超低渗透砂岩储层微观孔隙结构特征研究 [J]. 地质论评, 2008, 54 (2): 270~278.

[3] 郑凌茂. 碎屑储集岩的成岩作用研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989.

[4] 杨小萍, 陈丽华. 陕北斜坡延长统低渗透集岩成岩相研究 [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28 (4): 38~40.

[5] 窦伟坦, 田景春, 王峰, 等. 鄂尔多斯盆地长 6 油层组储集砂岩成岩作用及其对储层性质的影响 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2009, 36 (2): 153~159.

[6] 柳益群, 李文厚. 鄂尔多斯盆地东部上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化 [J]. 沉积学报, 1996, 14 (3): 87~96.

[7] 王伟, 朱玉双, 牛小兵, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 储层微观孔隙结构及控制因素 [J]. 地质科技情报, 2013, 32 (3) 118~124.

[8] 姚泾利, 王琪, 张瑞, 等. 鄂尔多斯盆地华庆地区延长组长 6 砂岩绿泥石膜的形成机理及环境指示意义 [J]. 沉积学报, 2011, 29 (1): 72~80.

[9] 兰叶芳, 黄思静, 吕杰. 储层砂岩中自生绿泥石对孔隙结构的影响 [J]. 地质通报, 2011, 30 (1): 134~141.

[10] 魏星, 王海红, 王成玉, 等. 绿泥石膜对胡尖山地区长 6 储层孔隙的影响 [J]. 内蒙古石油化工, 2010, 20 (23): 103~107.

[11] 田建峰, 陈振林, 凡元芳, 等. 砂岩中自生绿泥石的产状、形成机制及其分布规律 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27 (2): 200~206.

[12] 淡卫东, 辛红刚, 庞锦莲, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6₁储层成岩相半定量划分研究 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2013, 35 (5): 7~11.

[13] 曾联波, 李忠兴, 史成恩, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组特低渗透砂岩储层裂缝特征及成因 [J]. 地质学报, 2007, 81 (2): 174~180.

[编辑] 邓磊