

[引著格式] 庞锦莲, 淡卫东, 孙勃, 等. 鄂尔多斯盆地陇东城壕地区长7油层组致密油储层微观特征 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (9+10): 1~6.

鄂尔多斯盆地陇东城壕地区长7油层组致密油储层微观特征

庞锦莲, 淡卫东, 孙勃 (低渗透油气田勘探开发国家工程实验室)
邓静, 时致伟 (中石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710018)

[摘要] 通过全岩分析、铸体薄片、扫描电镜、场发射扫描电镜、压汞等试验, 对鄂尔多斯盆地陇东城壕地区长7油层组致密油储层微观特征进行了系统分析。结果表明, 该区致密油储层粒度细, 填隙物含量高, 以伊利石等黏土矿物为主; 储层孔喉结构复杂, 以溶孔为主, 残余粒间孔次之; 储层孔隙、喉道半径小, 致密程度高。不同物性储层的孔隙半径相差不大, 但喉道半径差异较大, 而喉道大小是决定渗透性差异的关键。储层微观特征差异成因分析表明, 沉积、成岩作用是影响孔隙结构差异的最主要控制因素, 最优储层为砂质碎屑流沉积形成的砂体, 浊流沉积次之。

[关键词] 微观孔隙结构; 致密油储层; 长7油层组; 陇东城壕地区; 鄂尔多斯盆地

[中图分类号] TE122.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 09+10-0001-06

近年来, 随着世界能源需求的不断增加, 非常规油气藏在世界油气勘探开发中的地位日趋重要^[1,2]。致密油气是目前非常规油气藏勘探的重点, 也是下一步中国油气增储上产的重要接替能源。鄂尔多斯盆地陇东地区长7油层组发育致密油藏, 其储层致密, 非均质性强, 微观孔隙结构特征与常规低渗油层有着明显的差异, 一般发育纳米-微米级多尺度的复杂孔喉系统^[3], 由此决定了独特的成藏特征及油气产能分布差异。因此, 开展该区长7油层组致密油储层微观特征的特征, 对揭示成藏富集规律, 开展储层评价、甜点预测、储层改造与保护有着重要意义, 同时也可该区长7油层组致密油的有效开发提供地质指导。

陇东城壕地区地处鄂尔多斯盆地中南部, 位于陕北伊陕斜坡 (图1)。

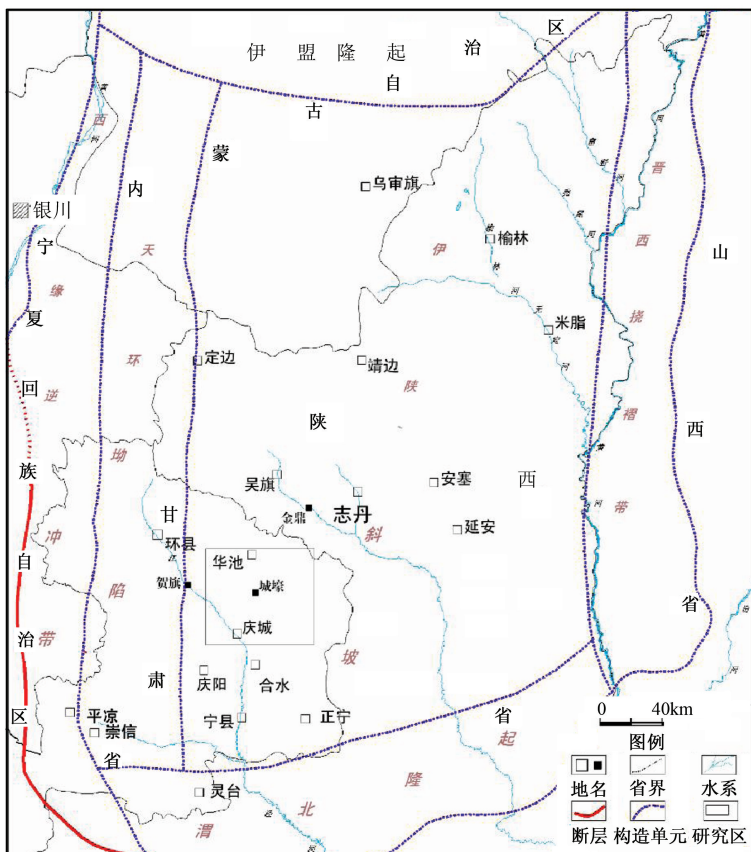


图1 研究区构造位置图

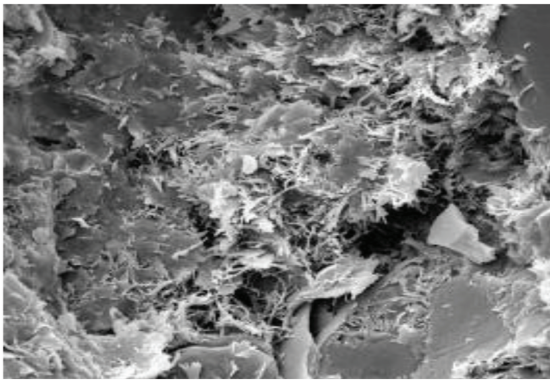
[收稿日期] 2015-07-20

[作者简介] 庞锦莲 (1978-), 女, 硕士, 工程师, 现主要从事储层沉积学, 38236118@qq.com。

长7油层组早期属于半深湖-深湖沉积环境，沉积建造以块状层理为主，递变层理、平行层理、水平层理、波状层理、泥岩撕裂屑、液化砂岩脉、包卷层理、火焰构造也较为发育。砂体类型以重力流沉积砂体为主，成因类型包括砂质碎屑流、浊流和滑塌沉积，其中砂质碎屑流成因砂体最为发育，其次为浊积岩。

1 储层岩石学特征

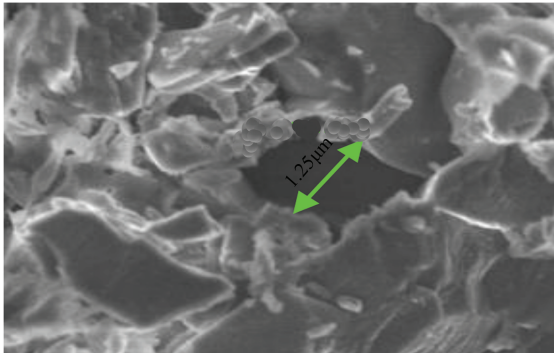
根据590块薄片资料的统计分析，陇东地区从城壕井区长7油层组深湖相储层岩石类型以岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩为主，还有少量的长石砂岩和岩屑砂岩。石英体积分数为36.8%；长石体积分数为22.3%，且以斜长石为主，钾长石次之；岩屑体积分数为22.7%，主要为变质岩屑、沉积岩屑、绿泥石、云母碎片，还有少量的火山岩屑。该区长7油层组储层岩石颗粒细，以极细粒-细粒结构为主，泥质含量高；碎屑颗粒以棱角-次棱角状为主，分选中等-差；以点-线接触为主，颗粒支撑；以孔隙式和孔隙式-薄膜式胶结为主。其成分成熟度较低，结构成熟度中等。砂岩填隙物总量较高，平均为17.8%，以水云母为主（图2（a）），其次为铁白云石、铁方解石、硅质。



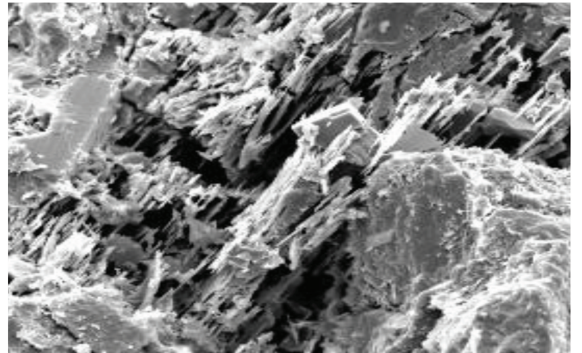
(a) 粒间丝缕状伊利石(城96井, 1973.27m)



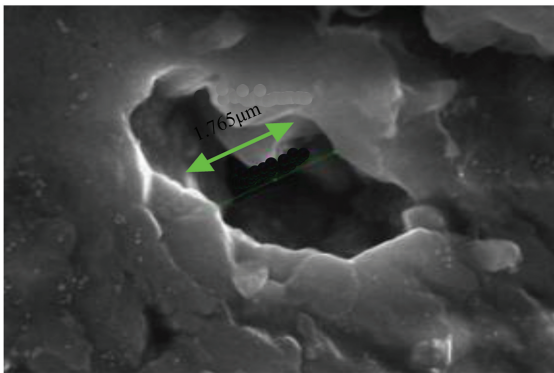
(b) 黏土杂基和铁白云石充填孔隙，黏土矿物吸附重油(里44井, 2260.43m)



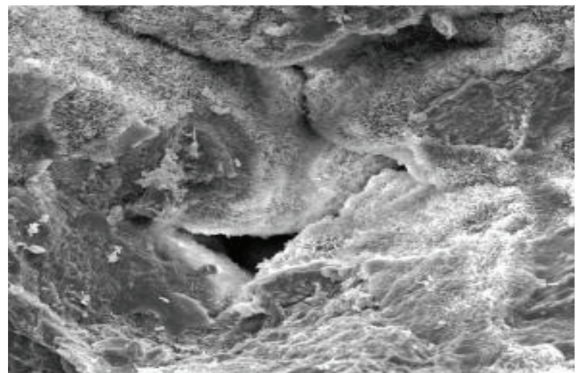
(c) 粒间孔(阳测3井, 2013.84m)



(d) 颗粒溶孔及菱面体碳酸盐(城96井, 2004.11m)



(e) 晶间孔(阳测4井, 2005.8m)



(f) 片状、管状喉道(环54井, 2647.83m)

图2 城壕地区长7油层组储层微观特征

2 储层物性特征及孔隙类型

据研究区物性分析化验资料统计, 长 7 油层组储层孔隙度为 6%~12% (平均 8.6%), 渗透率 0.03~0.3mD (平均 0.10mD), 属于典型致密砂岩储层。

根据铸体薄片和扫描电镜、场发射扫描电镜观察分析, 研究区长 7 油层组砂岩储集层的孔隙类型主要以溶孔为主, 粒间孔次之, 还有少量的晶间孔和微裂隙 (图 2 (c)、(d)、(e)), 平均面孔率 1.3%, 其中溶孔占到了总面孔率的 61.4%。

3 微观孔隙结构特征

孔隙结构主要指孔隙和与之连通喉道的组合关系及特征, 是沉积环境和成岩演化史综合作用的结果^[4]。目前, 国内外主要采用扫描电镜、常规压汞来研究孔隙结构, 针对致密储层比常规储层的孔隙结构更复杂的特点, 笔者采用常规方法结合恒速压汞等方法分析表征该区的微观孔隙结构特征。

3.1 孔隙大小分布特征

根据恒速压汞试验结果分析, 认为研究区长 7 油层组致密油储层平均孔隙半径为 143 μm , 从 6 块不同渗透率级别的样品孔隙半径分布曲线图 (图 3) 可以看出, 孔隙半径主要分布在 100~200 μm , 各样品的孔隙半径大小及其分布差异并不大, 基本符合正态分布。从平均孔隙半径与渗透率的相关关系图 (图 4) 可以看出, 两者之间并不存在明显的相关性。

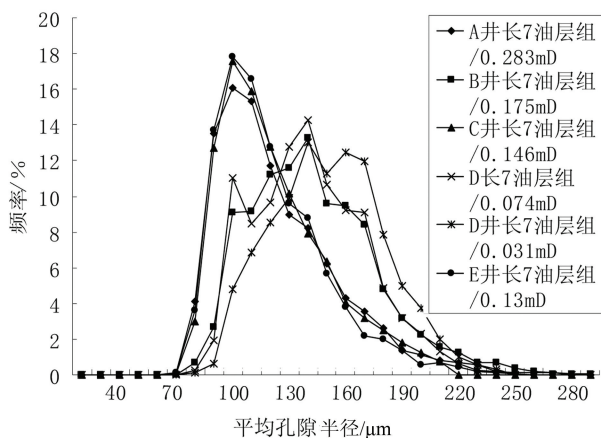


图 3 不同渗透率储层孔隙半径分布曲线

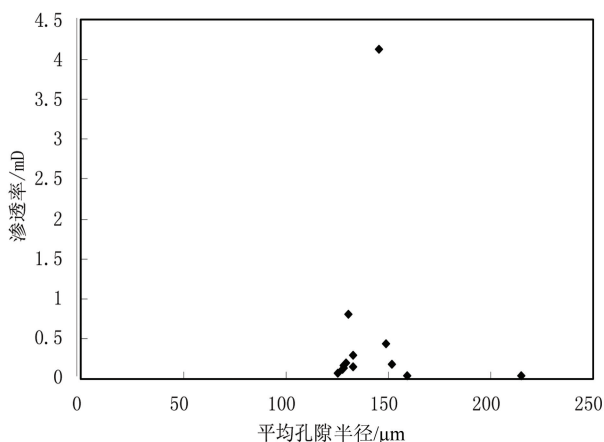


图 4 平均孔隙半径与渗透率的相关关系图

3.2 喉道分布特征

喉道对储层的渗流能力有决定性影响, 碎屑颗粒的接触关系、胶结类型及颗粒的形状和大小决定着喉道特征^[5,6]。扫描电镜分析显示, 研究区主要有 3 种类型喉道 (图 2 (f)): 收缩喉道、片状和弯片状喉道、管束状喉道。从恒速压汞的喉道半径分布曲线图 (图 5) 可以看出, 研究区长 7 油层组储层平均喉道半径一般分布在 0.2~0.6 μm (平均为 0.39 μm)。从喉道半径累积分布曲线 (图 6) 上可以看出, 不同渗透率级别的岩心, 其喉道半径的大小及分布也存在明显的差异, 相对于长 8 油层组样品, 长 7 油层组致密储层喉道半径分布范围更窄, 小喉道所占比例更大。从喉道半径与渗透率的相关关系图 (图 7) 来看, 二者呈现较好的正相关关系, 说明致密砂岩储层的喉道决定了储层的渗流能力。

3.3 孔喉半径比特征

孔喉半径比 (以下简称孔喉比) 是表征岩石孔喉结构特征的一项重要参数, 能反映流体的渗流特征, 孔喉比越大, 说明孔隙、喉道之间的差异越大, 流体流动时的渗流阻力越大^[7]。孔喉比分布频率图 (图 8) 及孔喉比与渗透率相关关系图 (图 9) 表明, 不同渗透率的孔喉比分布存在较大的差异, 渗

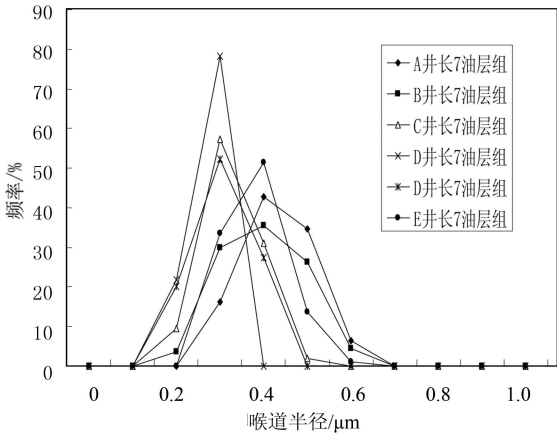


图5 喉道半径分布频率曲线

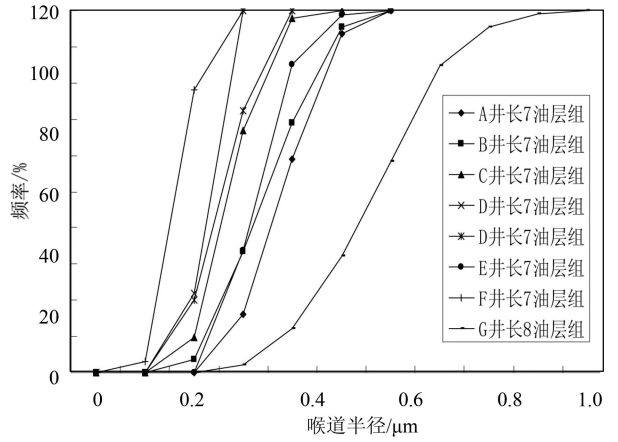


图6 喉道半径的累积分布曲线

透率与其呈现负相关关系。当孔喉比越小时，孔隙与喉道的连通性越好，储层的渗透率越高。渗透率与毛细管压力特征参数散点图(图10)上显示，随着储层渗透率的逐渐增大，中值半径也逐渐增大，中值压力和排驱压力逐渐减小。

3.4 毛细管压力曲线特征

毛细管压力曲线能够比较直观地反映储层的孔隙结构，不同的毛细管压力曲线代表不同的孔隙结构类型。恒速压汞曲线不仅提供总毛细管压力曲线，同时能通过孔隙、喉道的进汞曲线定量表征孔隙、喉道半径大小及其之间的配置关系。从3块样品的毛细管曲线特征图(图11)可以看出，进汞初期汞总是优先进入毛细管阻力小的孔隙，此时喉道对进汞量的影响并不十分明显，总毛细管压力曲线的变化与孔隙毛细管压力曲线基本一致，随着进汞压力的增大，进入孔隙中的汞减少，喉道进汞饱和度明显增加，此时喉道明显控制了总的毛细管曲线变化特征。总体上，不同物性控制着毛细管压力曲线变化，物性越好，毛细管压力相对较低，进汞量也会较高。

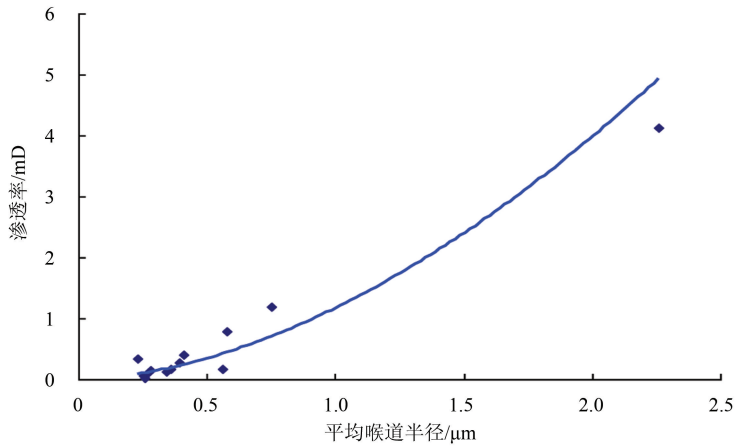


图7 喉道半径与渗透率关系图

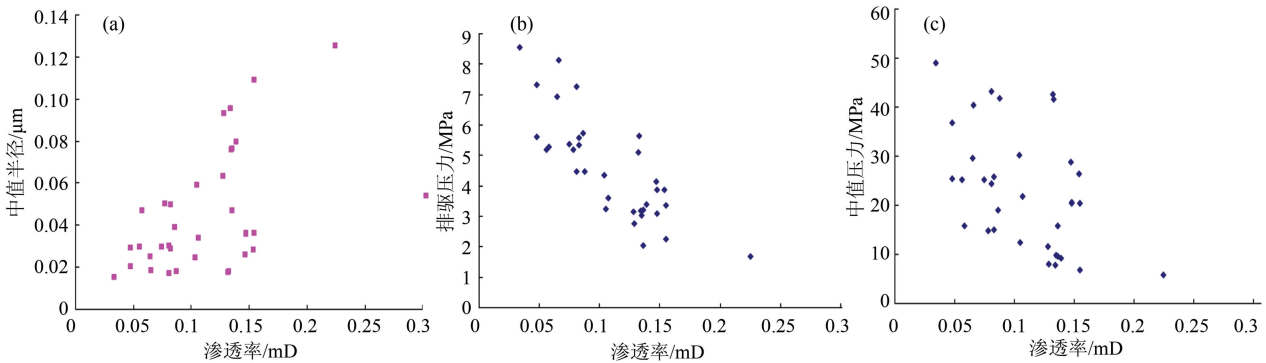


图8 渗透率与中值半径、排驱压力、中值压力的散点图

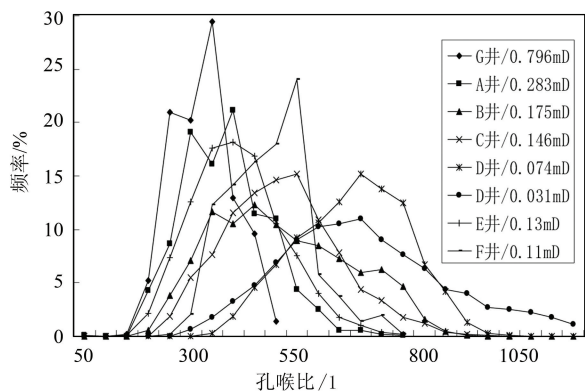


图 9 孔喉比分布频率图

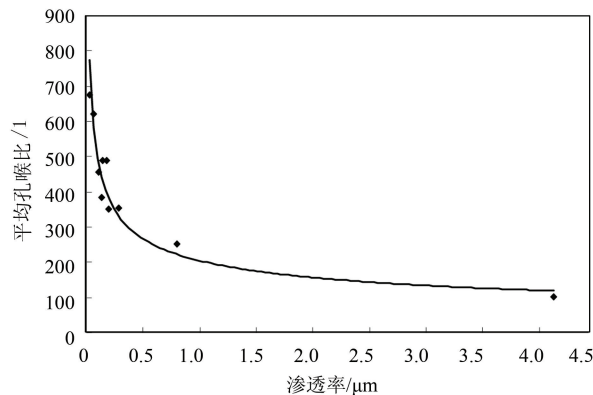


图 10 孔喉比与渗透率相关关系

4 孔隙结构的主要控制因素

4.1 沉积作用的影响

研究区为半深湖-深湖相沉积，储层主要以砂质碎屑流、浊流及滑塌沉积形成的砂体为主，粒度总体较细，岩性主要为细砂岩，是导致孔隙及喉道半径小、储层致密的先天因素。但不同沉积微相形成的岩石粒度还存在差异，从而导致储层原始孔隙结构的不同，而在该差异基础上的成岩作用，进一步导致了现今储层微观孔隙特征的差异。统计表明，砂质碎屑流沉积储层粒度相对最粗（平均粒径 0.22mm），孔隙结构最好（平均孔隙半径 50 μ m），溶蚀孔发育（平均 0.8%），面孔率较高（平均 1.4%）；浊流沉积储层粒度次之（平均粒径 0.18mm），孔隙结构较砂质碎屑流储层略差；滑塌沉积储层由于形成过程中砂泥混杂、分选差、泥质含量高，孔隙结构和物性最差。

4.2 成岩作用的影响

沉积作用决定着储层的岩石成分、结构和物性，但储层现今面貌是在沉积的基础上，经过复杂的成岩作用后最终形成的^[8,9]。因此，成岩作用对储层的微观结构和物性有着重要的影响。

4.2.1 压实作用

压实作用是致密砂岩储层孔隙减少、渗透率降低的主要因素。其主要受控于储集砂岩中抗压能力差的矿物含量、塑性组分及沉积物粒度等因素。陇东地区长 7 油层组岩性总体偏细且塑性组分含量偏高，在强烈的机械压实作用下，易被压实变形而发生塑性流动，以条带状充填孔隙，并发生强烈的假杂基化，造成碎屑颗粒间以线接触为主，局部呈凹凸接触，砂岩的原生孔隙大量消失，形成致密型孔隙组合。分析认为，压实作用是造成区内原始孔隙大量损失、储层致密的最主要因素。

4.2.2 溶蚀作用

溶蚀作用是储层砂岩中最重要的建设性成岩作用。研究区储层砂岩的岩石组分中不稳定的组分含量

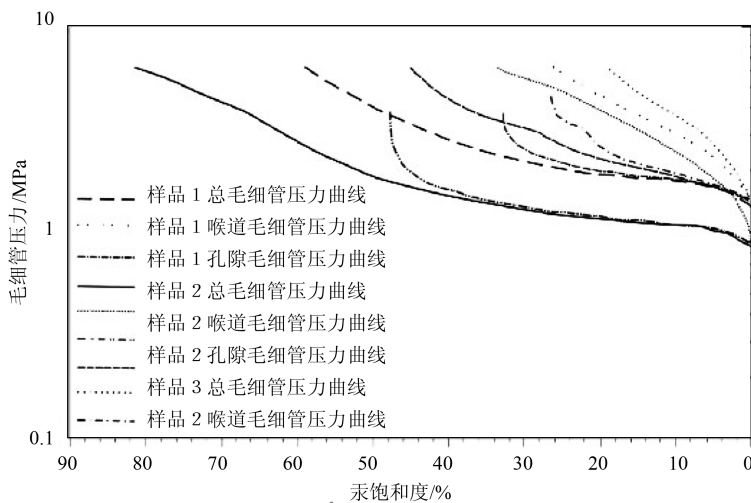


图 11 毛细管压力曲线

较高, 由于烃源岩在有机质热演化过程中产生了大量的有机酸性水, 易进入紧邻储层的孔隙中, 对长石等不稳定组分进行溶解, 从而增加孔隙空间, 致使长石溶蚀普遍发育 (图 2 (d))。

4.2.3 胶结作用

胶结作用是造成研究区储层孔隙减少、喉道变窄的重要因素。研究区胶结作用类型多样, 主要包括黏土胶结、碳酸盐胶结, 其次为硅质胶结。

1) 黏土胶结 伊利石是研究区长 7 油层组中最为发育的黏土矿物, 占到总填隙物含量的 55.4%, 通常充填在粒间孔隙中, 堵塞孔隙, 降低储层的孔渗性能。通过大量的扫描电镜观察, 将伊利石的产状分为 3 类, 分别为不规则片状、丝缕状和蜂窝状, 披盖在颗粒的表面或者孔隙中。片状伊利石在镜下表现为紧密堆积的集合体, 常分布于碎屑颗粒之间, 晶间孔隙不发育; 蜂巢状伊利石多见于粒间孔隙之中, 晶间孔隙发育; 丝缕状伊利石在孔隙狭窄处, 呈搭桥状分布, 对储层的渗透性影响较大。

2) 碳酸盐胶结 研究区长 7 油层组储层中碳酸盐胶结物主要为铁方解石和铁白云石, 结构主要有半自形-自形细中晶状及团块状, 多以结晶形式出现, 局部地区碳酸盐矿物充填了大部分粒间孔隙, 使得孔隙微观结构变差。

3) 硅质胶结 硅质胶结在研究区主要表现为石英次生加大边或者孔隙充填式胶结。次生加大边可见到 2 级, 充填孔隙并堵塞喉道; 孔隙充填式胶结中石英一般以单个或集合状充填孔隙。上述 2 种胶结类型均减小了孔隙和喉道直径。

5 结论

1) 陇东城壕地区区长 7 油层组期发育半深湖-深湖相细粒沉积, 以岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩为主, 填隙物含量高, 以水云母为主, 孔隙类型主要以溶孔为主, 粒间孔次之。

2) 研究区长 7 油层组储层物性差, 渗透率一般小于 0.3mD, 属于致密砂岩储层。储层虽然总体致密, 但物性还存在一定差异。渗透率与喉道半径的相关性明显好于孔隙半径, 表明喉道决定着储层的渗流能力。

3) 沉积、成岩作用控制了该区区长 7 油层组致密油储层孔隙结构的差异。压实作用储层致密的最关键因素。伊利石、碳酸盐及硅质等胶结作用的发育, 使储层进一步致密且复杂化。而溶蚀作用的发育则大大改善了储层物性, 是储层总体致密但还能成藏并发育甜点区的重要原因。

[参考文献]

- [1] 李玉喜, 张金川. 我国非常规油气资源类型和潜力 [J]. 国际石油经济, 2011, (3): 61~65.
- [2] 胡文瑞. 我国非常规天然气资源、现状、问题及解决方案 [J]. 石油科技论坛, 2012, 31 (6): 1~5.
- [3] 尤源, 牛小兵, 冯胜斌, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 7 油层组致密油储层微观孔隙特征研究 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2014, 38 (6): 18~24.
- [4] 吕成福, 陈国俊, 杜贵超, 等. 珠江口盆地白云凹陷珠海组碎屑岩储层特征及成因机制 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2011, 42 (9): 2763~2773.
- [5] 肖玲, 田景春, 魏钦廉, 等. 鄂尔多斯盆地吴旗地区长 6 储层孔隙结构特征 [J]. 新疆地质, 2007, 25 (1): 101~104.
- [6] 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.
- [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] 郑浚茂. 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.
- [9] 刘宝君, 张锦泉. 沉积成岩作用 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.