

文章编号:1673-8217(2011)02-0019-04

沙埝油田沙7断块阜三段低渗储层孔隙结构研究

张奉¹, 孙卫¹, 韩宗元²

(1. 大陆动力学国家重点实验室/地质学系·西北大学, 陕西西安 710069; 2. 中国石化胜利油田分公司石油开发中心)

摘要:在铸体薄片、扫描电镜研究的基础上,采用高压压汞和恒速压汞方法对沙7断块E₁f₃储层的孔隙结构进行了研究。研究区储层的孔隙类型主要为粒间孔、长石溶孔和岩屑溶孔,喉道类型以点状喉道为主,次为片状、弯片状喉道。高压压汞研究发现,研究区储层的孔隙结构非均质性较强,不同部位岩心的孔隙结构特征差异较大;由于胶结作用而使孔隙连通性变差的岩心其储集和渗流性能较差,而溶蚀作用较为发育的岩心,其孔隙极为发育且连通性好,因此其储集和渗流性能较好。恒速压汞实验表明,研究区储层岩石孔隙半径分布范围为100~200 μm;不同孔渗的样品之间孔隙分布特征相差不大,但其喉道分布特征却迥然不同。喉道对渗透率起主要控制作用,砂岩储层的微观非均质性主要由喉道的非均质性引起。

关键词:孔隙结构;低渗储层;阜三段;沙7断块**中图分类号:**TE112.23**文献标识码:**A

储集层岩石的孔隙结构特征是影响储层流体(油、气、水)的储集能力和开采油、气资源的主要因素,尤其对于低渗透储层而言,明确岩石的孔隙结构特征是发挥油气层的产能和提高油气采收率的关键^[1-3]。

沙埝油田位于江苏省高邮市境内,区域构造位置处于高邮凹陷北斜坡带中部宽缓的破碎断鼻构造带上,是由多个分散的含油断块组成的复杂断块群油藏,具有含油断块多,含油层系多,各含油断块面积小且破碎,储层非均质性严重等诸多的复杂地质情况^[4-6]。沙7断块位于沙埝油田中部,是江苏油田典型的低渗透窄条状油藏,其含油层系为古近系阜宁组阜三段。近年来随着中低渗透储量投入的逐年增加,低渗透窄条状油藏的开发现状成为影响江苏油田标定采收率的关键,因此,沙7断块提高采收率的研究具有重要的战略意义。在储层孔隙结构镜下分析研究的基础上,采用常规高压压汞和恒速压汞实验方法,对沙7断块E₁f₃储层的孔隙结构进行了研究。

1 储层微观孔隙结构镜下特征

据岩心分析资料统计显示,沙7断块E₁f₃储层孔隙度为6.2%~28.2%,平均20.19%,渗透率为0.1~232.0×10⁻³ μm²,平均42.62×10⁻³ μm²,属中孔、低渗储层^[7]。储层主要岩石类型为岩屑长石

砂岩及长石砂岩,碎屑颗粒分选程度好,粒径分布为细砂及极细砂,磨圆程度以次棱状为主,胶结类型主要为孔隙式胶结。

通过铸体薄片和扫描电镜分析,沙7断块E₁f₃储层岩石平均面孔率为15.1%,孔隙类型主要以粒间孔为主,占孔隙总含量的75.8%左右,长石溶孔、岩屑溶孔次之,分别占总孔隙含量的15.5%和6.7%,此外还可见少量晶间孔和微裂缝。图象孔隙显示,平均孔隙直径10.04~79.32 μm,平均46.88 μm;均质系数为0.34~0.52,平均0.42。①粒间孔:包括原生粒间孔和粒间溶孔。原生粒间孔呈边缘较平直的三角形状、多边形形状、片状或不规则状;粒间溶孔形态多样,有港湾状溶蚀、长条状溶蚀、特大溶蚀和蜂窝状溶蚀。②长石溶孔:长石颗粒部分或全部受溶形成的溶蚀孔隙,溶孔具长石颗粒的短柱状晶体轮廓,其中既有颗粒内部呈孤立状的粒内溶孔,又有沿颗粒边缘或解理缝溶蚀的溶孔。③岩屑溶孔:由岩屑颗粒部分溶蚀或全部溶蚀而成,当颗粒完全被溶时,多有残余物质显示出颗粒轮廓,与周围粒间孔一起构成明显超过邻近颗粒尺寸的大孔。

收稿日期:2010-10-25;改回日期:2010-11-30

作者简介:张奉,1985年生,2008年毕业于西北大学地质学系地质学专业,现为该校矿产普查与勘探专业在读硕士研究生,研究方向为油气储层评价。

基金项目:国家科技支撑计划“低渗-超低渗油田高效增产改造和提高采收率技术与产业化示范”(2007BAB17B00)资助。

④晶间孔：指孔径细小、存在于杂基和胶结物内的微孔，在铸体薄片很难分辨，但扫描电镜中可明显看出，本区晶间孔含量较少，仅为1.9%，主要为高岭石晶间孔及绿泥石晶间孔。

研究区 E₁f₃ 储层岩石孔隙组合类型主要为溶孔-粒间孔型，是由溶蚀孔和粒间孔所组成的一类较好的复合储渗空间。喉道特征表现为可变断面的收缩部分是主要喉道，主要为点状喉道，次为片状、弯片状喉道。

2 高压压汞研究孔隙结构特征

铸体薄片分析在研究储层孔隙和喉道的几何形状、大小及互相配置关系方面有其重要作用和直观的效果，而毛管压力测定则是量化研究微观孔隙结构的另一种最为省时省力的好方法，石油储集层研究中应用最广的是压汞法毛管压力测试^[7-8]。

沙7断块由于含油面积不大，取心井也较少，大部分开发井的层位仅为 E₁f₃ 段，故选取不同沉积微相、不同单砂层的四块岩心，进行了高压压汞研究（图1，表1）。现将四块岩心样品的毛管压力曲线特征及孔隙结构特征分述如下。

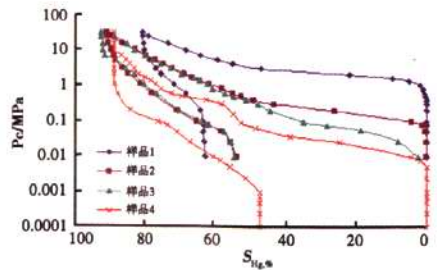


图1 岩心样品毛管压力曲线

(1)样品1：排驱压力高(1.479 MPa)；孔喉分布为单峰，孔喉分选好(分选系数为0.142)，进汞主要集中在0.03~0.5 μm 喉道所控制的孔隙体积内；渗透率低(0.109×10⁻³ μm²)。铸体薄片镜下观察样品发现铁方解石连晶状充填孔隙，致使孔隙孤立分布，连通性差。

(2)样品2：排驱压力低(0.107 MPa)；孔喉分布为单峰，孔喉分选中等(分选系数为2.826)，进汞主要集中在0.5~3.8 μm 喉道所控制的孔隙体积内；渗透率为18.993×10⁻³ μm²。铸体薄片观察显示，其硅质加大常见，铁方解石粗晶状充填孔隙，孔隙连通性较差。

表1 孔隙结构特征参数统计

编号	孔隙度，%	渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)	排驱压力/ MPa	最大连通孔 喉半径/μm	中值压力/ MPa	中值半径/ μm	最大进汞 饱和度，%	退汞 效率，%
1	11.59	0.109	1.479	0.51	3.49	0.22	80.92	22.77
2	14.50	18.993	0.107	6.99	0.43	1.76	90.95	40.94
3	20.58	40.14	0.009	83.33	0.38	1.97	92.54	41.42
4	22.16	348.1	0.005	150.00	0.05	15.00	88.92	46.89

(3)样品3：排驱压力很低(0.009 MPa)；孔喉分布为双峰，分选性较差(分选系数为3.055)，进汞主要集中在3.8~15 μm 喉道所控制的孔隙体积内；渗透率为40.14×10⁻³ μm²。铸体薄片观察，该样品颗粒呈支架状结构，充填物少，孔隙极其发育，连通性好。

(4)样品4：排驱压力很低(0.005 MPa)；孔喉分布为双峰，分选较差(分选系数为4.052)，进汞主要集中在1~30 μm 喉道所控制的孔隙体积内；渗透率为348.1×10⁻³ μm²。铸体薄片观察发现该样品层理发育，层面因云母等片状矿物富集以及凝灰岩屑泥铁矿化、泥化而显现，颗粒支架状，充填物少，孔隙极其发育。层理的发育增大了该样品的孔隙结构非均质性，是其排驱压力低、但最大进汞饱和度却比样品2、3低的原因；而因其孔喉直径最大，其退汞效率最高。

4块样品毛管压力曲线对比发现：样品1孔喉分选性好，但其孔喉细小且连通性差，孔隙度和渗透率值均较低，其最大进汞饱和度与退汞效率均最低；样品2和样品3比较，二者孔喉分选性相差不大，但样品3的孔喉较样品2更为发育，因此其孔隙度和渗透率均较样品2高，最大进汞饱和度和退汞效率也相应较高；样品4是四个样品中物性最好的，但由于层理发育增加了孔喉非均质性，其最大进汞饱和度并不是最高。由此可见，砂岩储层的储集性和渗流性既与孔喉发育程度密切相关，也受孔隙结构非均质性的影响。

此外，结合铸体薄片观察还可发现，除沉积作用外，成岩作用也是影响储层孔隙结构的重要因素^[9]，进而影响储层的储集和渗流能力。胶结作用不仅破坏了部分原生孔隙，而且进一步破坏次生溶孔，粒间的各种自生矿物的充填和胶结作用堵塞了孔喉而使

渗透性变差;溶蚀作用则形成次生溶孔,使砂岩的储集空间有所增加。

3 恒速压汞研究孔隙结构特征

恒速压汞是分析岩样孔喉配套发育特征的一项新技术,是以极低的恒定速度(通常为 0.00005 mL/min)向多孔介质注入水银,假定注入过程中接触角和界面张力保持不变,通过检测汞注入过程中的压力涨落将岩石内部的喉道和孔隙分开,不仅能够分别给出喉道和孔隙各自的发育情况,而且能够给出孔喉比的大小及其分布特征,对于孔、喉性质差别很

大的低渗储层尤其适用。与常规压汞相比,恒速压汞不仅能够提供更多的岩石物性参数,而且能够提供更详细的信息,能够明显区分不同岩样之间孔隙结构上的差异性,克服了常规压汞对应同一毛管压力曲线会有不同孔隙结构的缺陷^[10-17]。

岩石内部的孔喉配套发育特征,对流体(油、气、水等)渗流特征、剩余油气分布特征、油气产能的变化特征以及最终油气采收率的高低等均具有显著影响,因此选取具有代表性的三块岩心样品,进行了恒速压汞实验(图2,表2)。

(1)喉道分布特征(图2中a1、a2、a3,表2):1号

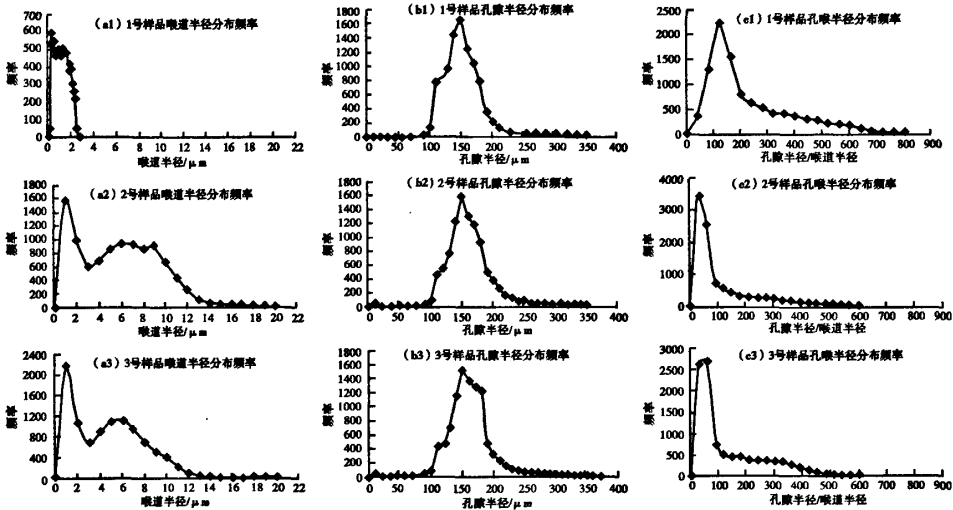


图2 恒速压汞喉道半径、孔隙半径分布频率

表2 恒速压汞实验孔喉特征参数统计

样品号	孔隙度, %	渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	排驱压力/ MPa	最大连通 孔喉半径/ μm	主流喉道 半径/ μm	喉道半径 平均值/ μm	孔隙半径 平均值/ μm	最终进汞 饱和度, %
1	18.2	3.03	0.297	2.475	1.826	1.246	153.42	57.42
2	26.3	132.00	0.060	12.250	7.269	5.779	161.55	70.86
3	27.1	165.00	0.058	12.672	6.782	4.715	162.15	71.28

样品喉道分布范围为 $0.2 \sim 2.5 \mu\text{m}$,喉道半径对分布频率的加权平均值为 $1.246 \mu\text{m}$;2号样品喉道分布范围为 $1 \sim 14 \mu\text{m}$,喉道半径对分布频率的加权平均值为 $5.779 \mu\text{m}$;3号样品喉道分布范围为 $1 \sim 12 \mu\text{m}$,喉道半径对分布频率的加权平均值为 $4.715 \mu\text{m}$ 。1号岩心喉道半径分布的峰位、平均值均远小于2、3号岩心。

(2)孔隙分布特征(图2中b1、b2、b3,表2):3块样品的孔隙分布特征相近,其孔隙半径分布范围、峰值极为接近,孔隙半径加权平均值分别为 $153.42 \mu\text{m}$, $161.55 \mu\text{m}$, $162.15 \mu\text{m}$ 。

1号样品孔隙度为 18.2% ,渗透率为 $3.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,2号样品孔隙度为 26.3% ,渗透率为 $132.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,3号样品孔隙度为 27.1% ,渗透率为 $165.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,在孔隙分布相近、孔隙度相差并不是很大的情况下,其渗透率相差悬殊,这说明喉道对渗透率起主要控制作用,砂岩储层的微观非均质性主要由喉道的非均质性引起。

(3)孔喉半径比分布特征(图2中c1、c2、c3):3块样品孔喉半径比的峰值分别分布在 120.30 、 60 ,孔喉比对相应区间上数量的加权平均值分别为 223.8 、 114.6 、 130.4 。岩样的孔喉半径比分布特征

反映了岩样及储集层微观渗流能力的高低,孔喉半径比数值较大时,大孔隙被小喉道所控制,此时贾敏效应较强,大孔隙内的油(气)难以通过小喉道,从而造成注入水驱油效率低。

4 结论

(1)研究区砂岩储层孔隙类型以粒间孔(包括残余粒间孔和粒间溶孔)、长石溶孔和岩屑溶孔为主,孔隙组合类型主要为溶孔-粒间孔型,喉道类型以点状喉道为主,次为片状、弯片状喉道。

(2)高压压汞研究发现,研究区阜三段储层不同部位岩心的孔隙结构特征差异较大;砂岩储层的储集性和渗透性既受孔喉发育程度的影响,也与孔喉分选性及孔隙结构的非均质性密切相关;沉积作用(如层理的发育等)和成岩作用影响储层的孔隙结构,进而影响其储集和渗流性能。

(3)恒速压汞实验表明,研究区储层岩石孔隙半径分布范围为 100~200 μm;不同孔渗的样品之间孔隙分布特征相差不大,但其喉道分布特征却迥然不同。喉道对渗透率起主要控制作用,砂岩储层的微观非均质性主要由喉道的非均质性引起。喉道半径较大,孔喉比较小时,渗透率较高,孔隙中的油容易流经喉道被驱替出。

参考文献

[1] 张创. 高邮凹陷沙埕南-花庄地区阜三段低渗储层孔隙结构研究[D]. 西安:西北大学,2009:21-54.

[2] 李海燕,徐樟有. 新立油田低渗透储层微观孔隙结构特征及分类评价[J]. 油气地质与采收率,2009,16(1):17-21.

[3] 马明福,李薇,刘亚村. 苏丹 Melut 盆地北部油田储集层孔隙结构特征分析[J]. 石油勘探与开发,2005,32(6):121-124.

[4] 张兆林,黄伟. 江苏复杂小断块中低渗油藏开发实践与认识[J]. 断块油气田,2004,11(4):36-39.

[5] 朱平. 江苏油田油气藏基本特征及其分类[J]. 断块油气田,2001,8(5):12-17.

[6] 张凡磊,张曙振. 沙埕油田阜三段测井储层评价研究[J]. 石油地质与工程,2009,23(3):36-39.

[7] 李道品. 低渗透砂岩油田开发[M]. 北京:石油工业出版社,1997:329-332.

[8] 郑杰,孙卫,魏虎. 牛圈湖区块西山窑组储层微观孔隙结构研究[J]. 石油地质与工程,2010,24(2):40-43.

[9] 卜军,李文厚,曾明,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区中侏罗统延9油层组储层成岩作用及对孔隙的影响[J]. 石油地质与工程,2010,24(3):24-27.

[10] 王旭,邓礼正,张娟,等. 富古地层下古生界储层孔隙结构特征分析[J]. 断块油气田,2010,17(1):49-51.

[11] Yuan H H, Wanson B F. Solving pore space characteristics by rate-controlled porosimetry [R]. SPE 14892, 1989: 167-175.

[12] 唐仁骥,曾玉华. 岩石退汞效率几个影响因素的研究[J]. 石油实验地质,1994,16(1):84-93.

[13] 王金勋,杨普华,刘庆杰,等. 应用恒速压汞实验数据计算相对渗透率曲线[J]. 石油大学学报(自然科学版),2003,27(4):66-69.

[14] 于俊波,郭殿军,王新强. 基于恒速压汞技术的低渗透储层物性特征[J]. 大庆石油学院学报,2006,30(2):22-24.

[15] 杨正明,张英芝,郝明强. 低渗透油田储层综合评价方法[J]. 石油学报,2006,27(2):64-67.

[16] 解伟. 西峰庆阳区长8储层微观孔隙结构及渗流特征研究[D]. 西安:西北大学,2008:44-57.

[17] 朱永贤,孙卫,于锋. 应用常规压汞和恒速压汞实验方法研究储层微观孔隙结构[J]. 天然气地球科学,2008,19(4):553-556.

编辑:吴官生