

文章编号:1672-9854(2009)-02-0067-04

孔隙铸模法在碳酸盐岩 孔隙结构微观实验研究中的应用

范鹏¹, 董兆雄^{2,3}, 李君⁴, 何江³, 孙健⁵

(1 西南石油大学研究生院; 2 西南石油大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室)
(3 西南石油大学资源与环境学院; 4 中海油能源公司南海西部研究院; 5 中石油东方地球物理公司研究院大港分院)



范鹏

摘要 联合使用扫描电镜、超长焦距连续变焦视频显微镜以及偏光显微镜等微观实验研究仪器设备,并结合相应样品的压汞资料分析,应用孔隙铸模法研究了川南—黔北地区下三叠统嘉陵江组几种代表性碳酸盐岩的孔隙微观结构。孔隙类型主要有残余粒间孔、扩溶粒间孔、粒内溶蚀孔、晶间孔,形状主要有规则近等轴状、三角形或多边形、星点状以及“Y”状等,以片状、弯片状喉道为主。孔隙密集分布的区域呈“斑点”状出现,“斑点”之间缺少喉道连通,彼此呈“孤岛”状出现。不同沉积成岩环境中形成的岩石孔隙结构具有明显差异。

关键词 孔隙铸模法; 碳酸盐岩; 孔隙结构; 川南; 黔北; 早三叠世

中图分类号: TE112.111 **文献标识码**: A

范鹏 1984 生, 2006 年毕业于西南石油大学, 现为该校在读硕士研究生, 研究方向为沉积学及碳酸盐岩储层地质学。通讯地址: 610500 四川省成都市新都区西南石油大学研究生院 硕 06 级 6 班; 电话: (028)83032807

储集岩孔隙微观结构特征不但影响储集性,也直接影响油气采收率。尤其是碳酸盐岩储集层具有类型多样、次生变化大、非均质性强等特点,它比砂岩具有更大的复杂性和多样性,因此,搞清它的孔隙微观特征对于油气开发生产具有十分重要的实际意义。

孔隙铸模法是在由实验仪器观察分析得到全岩样品的孔隙类型及相应孔隙参数的基础上,用扫描电镜观察相应样品的孔隙铸模特征,待实验完毕后,将两者的分析结果进行对比研究,探求它们之间的相互关系,进而指导生产实践^[1-3]。用扫描电镜观察孔隙铸模能更真实地反映岩石孔隙结构的形态特征,为研究储集性能提供依据。

本文主要对川南—黔北地区下三叠统嘉陵江组碳酸盐岩孔隙结构作微观实验研究。

1 样品制备

主要对鲕粒白云岩、亮晶生物屑灰岩、泥晶白云岩等三类岩石进行实验研究,每类岩石均配套制备了

普通岩石薄片、铸体薄片、孔隙铸模、压汞实验铸体等共 12 个样品。其中孔隙铸模样品的制备方法如下。

(1) 灌注和酸蚀 铸模样品的灌注与铸体薄片的样品灌注相同。将灌注好的铸模原样用 5% 的稀盐酸进行酸蚀。在酸蚀过程中,为保证孔隙的完整性,不能摇动烧杯。反应完毕后,用蒸馏水小心清洗酸蚀后剩下的铸体材料(孔隙铸模),待其自然风干。

(2) 样品粘结上桩 把酸蚀后获得的孔隙铸模样品按岩性分类后,分别粘在样品台上,然后放在不易接触的地方风干。

(3) 镀膜 用高真空镀膜台给孔隙铸模样品镀导电金膜。镀膜时最好采用少量多次蒸镀的方式。

经过上述处理后的孔隙铸模样品即可送入扫描电镜观察。

2 孔隙微观结构的观察分析

先用偏光显微镜确定岩石样品的岩性和孔隙类型,再利用体视显微镜视域大、立体感强的特点观察

收稿日期:2008-09-11

孔隙的空间展布形态。在此基础上,结合扫描电镜来观察孔隙铸模样品,我们可从三维立体的角度上清楚地观察到孔隙和喉道的结构类型以及孔喉网络特征。

2.1 孔隙特征

2.1.1 孔隙类型

本次实验观察到的孔隙类型主要有以下四种。

残余粒间孔 常见于鲕粒白云岩,孔隙边缘平直,连通性好,配位数一般在3~4(图1,图2)。

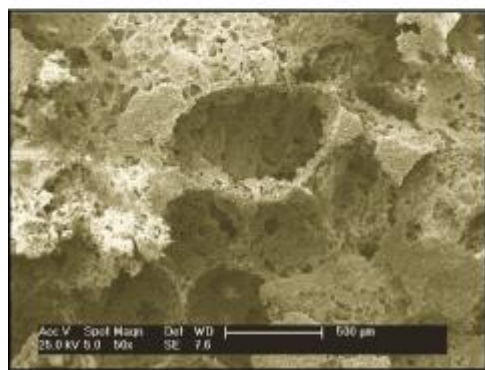
扩溶粒间孔 常见于鲕粒白云岩,孔隙的边缘多呈港湾状。

粒内溶蚀孔 常见于亮晶生物屑灰岩中,孔隙具明显的选择性溶蚀及不完全充填的特征。

晶间孔 主要指白云岩中白云石晶间孔,也见于部分方解石胶结物(或充填物)晶体之间的孔、缝隙。



(a) 铸体薄片,红色为铸体。 $\times 12.5$,单偏光

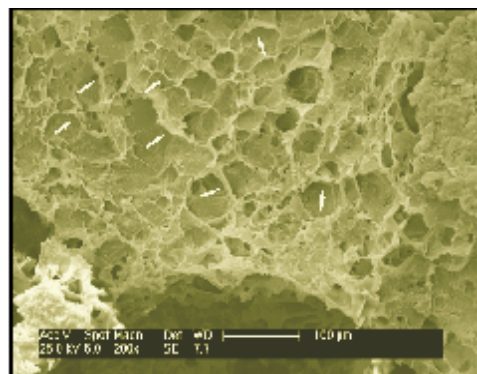


(b) 孔隙铸模,实体部分为孔隙。 $\times 50$, SEM

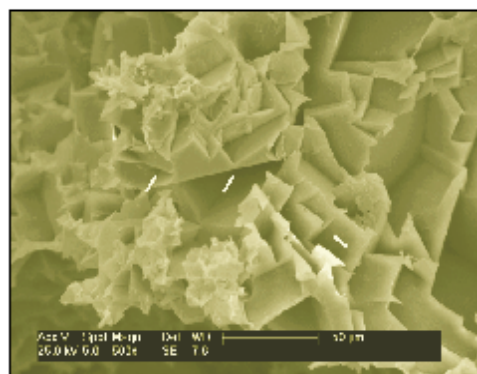
图1 川南—黔北地区下三叠统嘉陵江组鲕粒白云岩残余粒间孔

2.1.2 孔隙形状

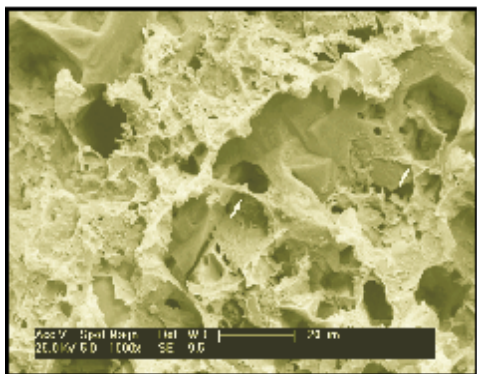
孔隙形状不仅制约着岩石中流体的流动状态,而且也影响着岩石中残余油饱和度的大小。此次实验中观察到的孔隙形状也有四种:



(a) 鲕粒白云岩,蠕虫状孔道 $\times 2000$, SEM



(b) 鲕粒白云岩,针状孔道 $\times 800$, SEM



(c) 亮晶生物屑灰岩,星点状孔道 $\times 1000$, SEM

图2 川南黔北地区下三叠统嘉陵江组储层喉道类型

规则近等轴状孔隙 多为颗粒铸模孔,常见于鲕粒白云岩和生物屑灰岩中;

三角形或多边形孔隙 多为晶间孔,少量见于鲕粒白云岩和亮晶生物屑灰岩中;

星点状孔隙 多为铸模孔和膏模孔,常见于泥晶白云岩中;

“Y”状孔隙 多为残余粒间孔,常见于鲕粒白云岩中,连通性较好,对油气的储集和运移十分有利。

2.2 喉道类型

喉道是孔隙缩小的部分,对流体在岩石中的流动起着控制作用。本次试验观察到的喉道类型有三种。

片状、弯片状喉道 晶间孔隙因共轴胶结作用而使孔隙缩小形成边缘平直的片状喉道,粒间孔因压实、胶结作用而使孔隙缩小形成弯片状喉道(图2a)。这两种喉道在样品中均有大量发育,宽度在3~6.2 μm 之间。

缩颈状喉道 由孔隙内晶体生长或其他充填物充填压缩而形成的一种曲面间不等厚喉道,孔隙与喉道之间无明显界限,宽度在4~9 μm 之间(图2b)。

管状喉道 孔隙之间细而长的连通通道,横断面接近圆形或等轴状。这种喉道在样品中分布较少,平均直径为1.5 μm 左右(图2c)。

通过实验观察发现鲕粒白云岩的孔喉以网络状出现,其连通性较好,配位数一般 ≥ 3 ,有利于油气的储集和运移。

2.3 孔隙结构的非均质性

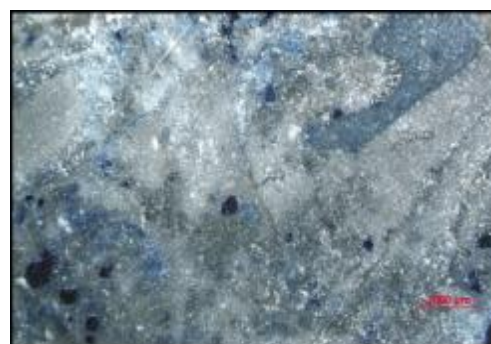
通过显微镜观察,发现孔隙分布具有明显的非均质性。孔隙密集分布的区域呈“斑点”状出现,而这些“斑点”稀疏地分布于整个岩样当中,“斑点”之间缺少喉道连通,彼此呈“孤岛”状出现(图3)。这种孔隙的非均质性对油气在储层中的运移有一定的不利影响。

本实验中的孔隙非均质性主要出现在亮晶生物屑灰岩的粒内溶孔、铸模孔和膏模孔等孔隙类型中。

3 孔隙结构与压汞资料的对比研究

对配套的压汞实验样品进行测试和分析统计后,得到样品的毛细管压力曲线(图4)以及主要孔隙结构参数(表1)。

从表1可以发现,鲕粒白云岩的排驱压力、饱和度中值压力以及最小非饱和的孔隙体积百分数等值均是样品中最小的,它们与其他两岩类的对应值之间具有数量级上的差别;亮晶生物屑灰岩的相应参数值均为样品中最大的,泥晶白云岩次之。从压汞曲线(图4)的形态对比上看,总体上三者对应的压汞曲线均为两头陡,中间缓,但相对而言,鲕粒白云岩压汞曲线的平缓部分较低且宽,显示其排驱压力较低、最大喉道半径较大、岩石的渗透性及储集性均较好的特点。



(a) 粒内溶孔。体视显微镜垂直光,蓝色为铸体



(b) 铸模孔。实体部分为孔隙,孔隙铸模。 $\times 30$, SEM

图3 川南—黔北地区下三叠统嘉陵江组亮晶生物屑灰岩中的孔隙结构

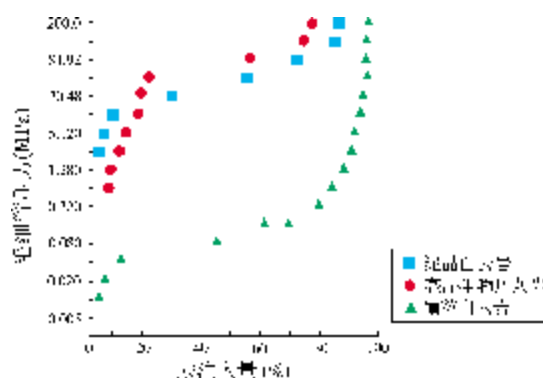


图4 毛细管压力曲线

表1 川南—黔北地区下三叠统嘉陵江组储层样品压汞实验孔隙参数

孔隙参数	样 品		
	鲕粒白云岩	亮晶生物屑灰岩	泥晶白云岩
排驱压力 (MPa)	0.035	30.72	10.88
饱和度中值压力 (MPa)	0.0955	90.1991	40.6271
最小非饱和的孔隙体积百分数 (%)	3.135	30.556	18.446

从岩样的孔喉分布直方图(图5)中可以发现,鲕粒白云岩的孔喉半径较大,多在 $5.8\sim 23.3\mu\text{m}$ 之间,呈粗歪度;亮晶生物屑灰岩和泥晶白云岩的孔喉半径小,多在 $0.0092\sim 0.023\mu\text{m}$ 之间,呈细歪度。但三种岩石均表现出总孔隙中相对较大的部分对岩石

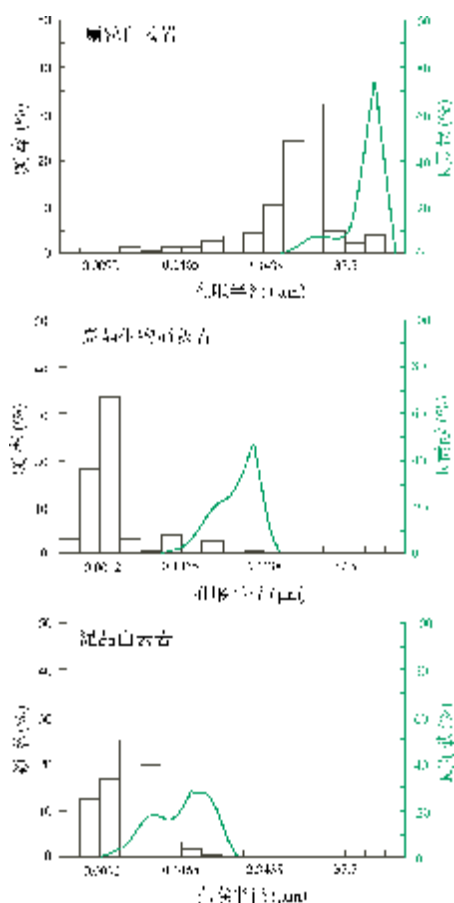


图5 川南—黔北地区下三叠统嘉陵江组储层岩样孔喉分布直方图

是否具有渗滤功能起着决定性的作用,孔隙结构显示出“异中有同”的特点。

这几类碳酸盐岩的孔隙结构差异与其沉积环境和成岩作用密切相关。鲕粒白云岩形成于水动力较强的环境中,水对颗粒的淘洗作用明显,颗粒分选好,颗粒间灰泥和胶结物少,属颗粒支撑结构。在早期胶结不完全的情况下,存在残余粒间孔,便于成岩流体的运动,若在酸性流体的作用下,则可形成扩溶粒间孔隙。亮晶生物屑灰岩同样形成于水动力较强的环境中,但由于生物屑大小、形状及化学稳定性的差异,容易发生选择性溶蚀,非均质性明显,颗粒内溶蚀孔隙及铸模孔发育。泥晶白云岩形成于低能的水体环境和准同生交代成岩期,泥晶级白云石紧密接触,有效孔隙和喉道不发育,不利于油气的聚集,难以形成具有工业开采价值的储层。

4 结 论

(1)通过对孔隙铸模的实验观察,川南—黔北地区下三叠统嘉陵江组碳酸盐岩的孔隙非均质性主要出现在亮晶生物屑灰岩的溶蚀孔隙中。

(2)综合运用偏光显微镜、扫描电镜、体视显微镜等微观实验研究设备,并结合压汞资料来进行分析,可以很好地表征碳酸盐岩储层孔隙的微观结构特征。

参 考 文 献

- [1] 罗蜚潭,王允诚. 油气储集层的孔隙结构[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [2] 任绪康. 扫描电镜对低渗透储集层砂岩基质内孔隙铸体法分析的剖析[J]. 化工矿产地质,1997,19(1):69-72.
- [3] 曹寅,朱樱,黎琼. 扫描电镜和图像分析在储层研究中的联合运用[J]. 石油实验地质,2001,23(2):221-225.

编辑:吴厚松

Application of Pore Mold Method in Microcosmic Experiment of Porosity Microtexture of Carbonate Rocks from Southern Sichuan-Northern Guizhou Area

Fan Peng, Dong Zhaoxiong, Li Jun, He Jiang, Sun Jian

Abstract: Combined the equipments of microanalysis experiment as SEM, super-long focused microscope and polarizing microscope with the data from mercury injection of the samples, the method of pore mold is used in the observation of porosity microtexture of several typical Lower Triassic Jialingjiang carbonate rocks in Xishui, Guizhou province and in Luzhou, Sichuan province. It is shown that the types of pores mostly are residual intergranular pores, spreading intergranular pores, intragranular dissolved pores, intercrystalline pores and so on. The shapes of pores mainly are ruled near-equiaxial, triangular or polygon, asterion, Y-shaped and so on. The throats are mainly flak and flake curved. Pores distribute as spots in some dense areas in samples and connecting throats are lack from each other among these spots. Obvious difference of porosity microtexture in dissimilar rocks implies different sedimentary environments.

Key words: Early Triassic; Method of pore mold; Carbonate rocks; Porosity texture; Southern Sichuan; Northern Guizhou
Fan Peng: male, Master degree in progress at Southwest Petroleum university, Chengdu, Sichuan, 610500 China