

文章编号:1001-6112(2012)04-0451-03

受力状态下白云岩溶蚀实验及其地质意义

罗开平, 范明, 刘运黎, 韩或

(中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏无锡 214126)

摘要:白云岩储层发育在很大程度上取决于成岩作用改造, 溶蚀作用是其中最重要的一环。基于对川东北地区长兴组、飞仙关组白云岩储层的研究, 针对储层中裂缝、微裂缝等构造形迹与溶蚀孔隙之间的密切关系, 在前人相关研究和实验基础上, 通过受力状态下白云岩溶蚀实验, 探讨了裂缝(微裂缝)对于白云岩溶蚀作用的影响, 表明裂缝发育能促进溶蚀作用的进行, 构造形迹(裂缝)影响下的埋藏溶蚀可能是白云岩储层主要的改造机制。

关键词:白云岩; 溶蚀作用; 储层改造; 裂缝; 构造形迹

中图分类号: TE122.2⁺3

文献标识码: A

Experiment of dolomite dissolution in stress state and its geologic significance

Luo Kaiping, Fan Ming, Liu Yunli, Han Yu

(Wuxi Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: The generation of dolomite reservoir mainly depends on diagenetic deformation, among which dissolution is the most important. Dolomite reservoirs in the Changxing and Feixianguan Formations of the northeastern Sichuan Basin were studied. The relationship between dissolution pores and structural features such as cracks or micro-cracks in reservoirs were analyzed. The experiment of dolomite dissolution in stress state was carried out and the influences of cracks or micro-cracks on dolomite dissolution were discussed. It was concluded that the development of cracks was favorable for dissolution, and the burial dissolution under structural deformation was the most important deformation effect for dolomite reservoir.

Key words: dolomite; dissolution; reservoir deformation; crack; structural deformation

白云岩是四川盆地最重要的海相储集岩石类型, 包括普光气田在内的众多海相大中型气田储层约大多数为白云岩。近10年来, 随着四川盆地海相油气勘探的不断突破, 白云岩储层的成因一直是研究的热点^[1-5]。白云岩储层的发育除了受制于有利的沉积相外, 成岩作用改造是重要的控制因素, 其中又以埋藏溶蚀作用为主^[6-12]。因此, 围绕白云岩的溶蚀机理的研究和相关实验也一直在进行, 并在埋藏溶蚀作用发生的动力学机制及埋藏溶蚀作用的影响因素等方面取得了重要的认识、积累了大量的实验数据^[13-16]。但前人实验主要针对的是岩石成分、酸性介质和温压条件等因素, 很少涉及岩石受力作用后所产生的构造形迹(特别是裂缝、微裂缝)对溶蚀作用的影响。笔者在对普光地区二叠—三叠系长兴组和飞仙关组储层研究中, 对储层孔隙的显微岩石学特征、裂缝与溶孔组合及裂缝发育与储层物性之间

的相关性进行了细致的分析, 发现储层岩石构造形迹(包括裂缝、微裂缝及破碎)与溶蚀孔隙之间关系非常密切, 岩石破碎面往往是溶蚀最发育的部位, 形成明显的溶蚀扩容(图1), 裂缝发育段对应的储层物性也优于裂缝欠发育段。为了探讨构造形迹对于溶蚀作用的影响, 设计了受力状态下的白云岩溶蚀实验。

1 实验装置和流程

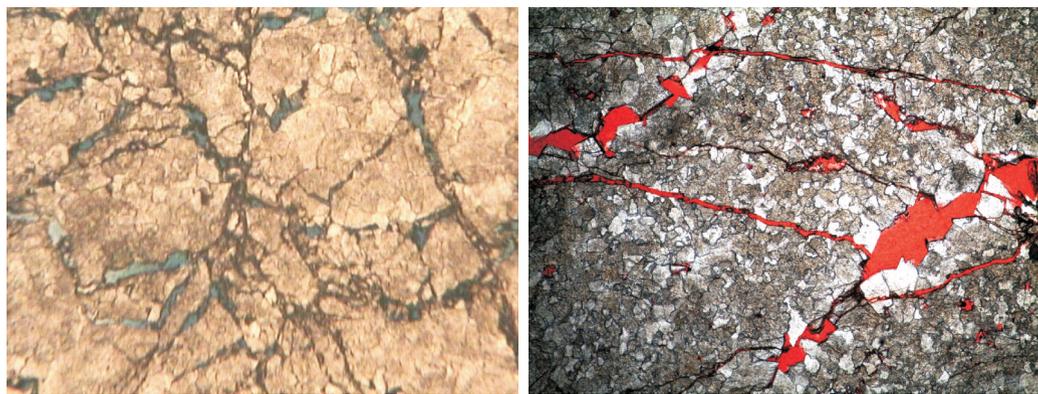
1.1 实验装置

实验采用图2所示的装置和系统。装置的关键部件是一个可以对片状岩样施压且密封的岩样室, 根据材料及模拟实验的要求, 岩样室所能经受的最高温度设计为150℃(可以模拟地层深度5 000~6 000 m), 夹持器环压设计为150 MPa。通过岩心前高压泵和围压泵可以分别对施压压头施加压力和对岩样室进行密封。酸性流体的加

收稿日期: 2012-03-27; 修订日期: 2012-06-05。

作者简介: 罗开平(1964—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事石油地质综合研究。E-mail: luokp_syky@sinopec.com。

基金项目: 中国石化科技部项目(P09063)资助。



普光2井飞仙关组

元坝2井长兴组

图1 川东北地区白云岩储层铸体薄片显示的裂缝与溶孔

Fig.1 Cracks and dissolution pores shown by casting thin sections in dolomite reservoirs, northeastern Sichuan Basin

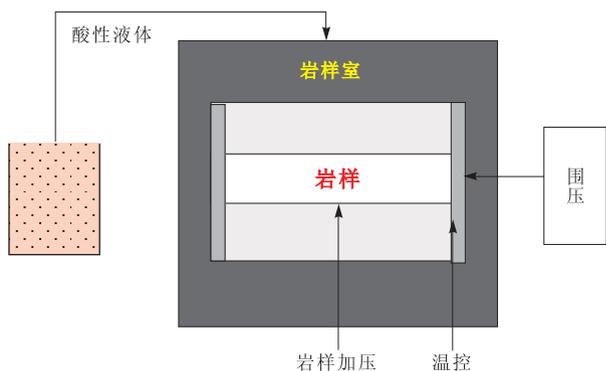


图2 岩样受力状态下溶蚀实验示意

Fig.2 Dissolution experiment of rock samples in stress state

和加温通过压力变送器和温控器实现。在岩样上部设计一个台阶,可以放入2.5 cm直径的岩片。让酸性液体在高温、高压下“冲刷”样品的受力表面。实验用的酸性流体为浓度5%的乙酸溶液。

1.2 样品处理

将来自于四川城口地区三叠系的均质、无裂缝的块状鲕粒白云岩加工成25 mm(直径)×5 mm(厚度)的圆饼状样品,进行磨平抛光处理。对样品采用图3所示的装置施加压力,按照一定的速率慢慢增加所施加的压力,直致岩石变形破裂,从而确定样品破裂的临界压力等相应的岩石力学参数(表1)。

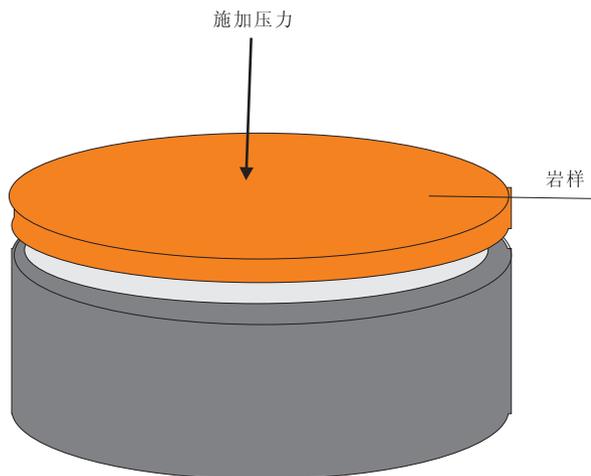


图3 圆柱模型弯曲模量测定原理

Fig.3 Determination scheme of flexural modulus of cylinder model

1.3 实验流程

根据样品的韧性检测结果,将样品分为2组(1-100-40Y-1和1-100-80Y-1为A组,1-100-40Y-2和1-100-80Y-2为B组)。将样品1-100-40Y-1放入样品室,用岩心前高压泵通过施压压头对样品施加载荷强度(327.5 N)40%的压力(131 N),通过压力变送器和温控器将150℃的浓度5%的乙酸溶液注入样品室(流体压力为10 MPa),“冲刷”

表1 白云岩样品韧性检测结果

Table 1 Test results of toughness of dolomite samples

样号	样品名称	层位	载荷强度/N	最大挠度/mm	抗弯模量/MPa	40%加载压力/N	80%加载压力/N
1-100-40Y-1	鲕粒白云岩	T	327.5	0.18	3 312	131	262
1-100-40Y-2	鲕粒白云岩	T	655.1	0.178	3 160	262.04	524.08
1-100-80Y-1	鲕粒白云岩	T	749.1	0.255	2 307	299.64	599.28
1-100-80Y-2	鲕粒白云岩	T	533.1	0.211	2 479	213.24	426.48

岩样的受张力面,持续时间为100 h,所用乙酸溶液为1 000 mL。对样品1-100-80Y-1重复上述实验,只是施加压力增加到载荷强度(749.1 N)80%的压力(599.28 N)。实验结束后通过扫面电镜观察岩片的受张力面溶蚀后的岩石结构变化。

2 实验结果

图4是1-100-40Y-1样品表面溶蚀后的扫描电镜图像。因加载压力仅是最大载荷的40%,样品表面没有见到明显的裂纹。溶蚀区域内可见大量溶蚀孔分布,但样品中间及四周辐射区域溶蚀特征未见明显差异(图4a)。岩石表面原有的方解石胶结物已被溶解,留下的绝大部分为白云石颗粒,形成大量的次生晶间孔(图4b)。

相对于1-100-40Y-1样品,由于1-100-80Y-1施加的压力为最大载荷的80%,从其溶蚀后的扫描电镜图上(图5)可以看到,岩石表面有两条明显的交叉裂纹和大量孔隙(图5a),溶蚀作用除了和1-100-40Y-1样品一样在岩石表面将原有的方解石胶结物溶蚀留下白云石颗粒,形成了大量的次生晶间孔隙外,沿着裂纹溶蚀作用更加显著,形成明显的溶蚀扩容(图5b)。

图6是样品1-100-80Y-2中央区域沿一条裂纹溶蚀后的扫描电镜图像,沿着裂缝的溶蚀较远离

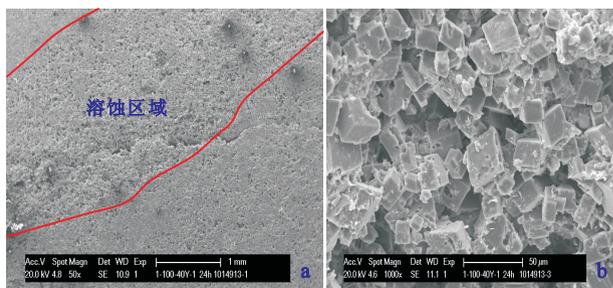


图4 样品1-100-40Y-1表面溶蚀后的扫描电镜图像

Fig. 4 SEM of sample 1-100-40Y-1 after dissolution on surface

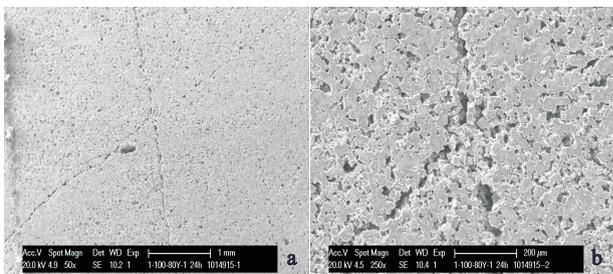


图5 样品1-100-80Y-1表面溶蚀后的扫描电镜图像

Fig. 5 SEM of sample 1-100-80Y-1 after dissolution on surface

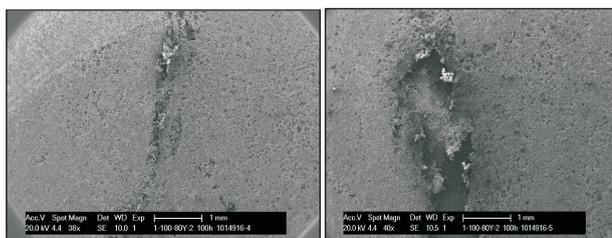


图6 样品1-100-80Y-2沿裂纹溶蚀的扫描电镜图像

Fig. 6 SEM of sample 1-100-80Y-2 after dissolution along cracks

裂缝区域强烈得多,形成“溶蚀坑”。

对比实验结果表明,在微受力状态下,岩石表面不会形成明显的构造形变,在酸性溶液环境中溶蚀作用主要发生在岩石表面,表现为一种面状溶蚀;随着应力的增加,当应力值接近或超过岩石的临界破裂强度时,岩石会形成裂纹、裂缝或者破碎,使得岩石与酸性流体的接触面增加,岩溶作用由面状溶蚀变为体状溶蚀,直观的表现为沿裂纹或裂缝溶蚀作用明显增强,形成“带状溶蚀”或“溶蚀坑”。

3 地质意义

构造应力作用产生的裂缝、微裂缝、破碎等岩石构造形迹能促进白云岩的埋藏溶蚀作用,这种作用是白云岩及其他碳酸盐岩储层重要的改造机制。对于类似于川东北经历过多期构造运动改造的地区,白云岩储层分布除了受有利沉积相控制外,裂缝发育地区由于强烈的埋藏溶蚀作用改造,也能形成较好甚至优质储层。这一认识深化和完善了白云岩储层的成因理论,扩大了对优质储层的分布范围的认识,拓展了勘探的领域和空间。

参考文献:

- [1] 马永生,蔡勋育,李国雄. 四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J]. 地质学报,2005,79(6):858-865.
- [2] 蔡勋育,马永生,李国雄,等. 普光气田下三叠统飞仙关组储层特征[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2005,27(1):43-45.
- [3] 郑荣才,胡忠贵,冯青平,等. 川东北地区长兴组白云岩储层的成因研究[J]. 矿物岩石,2007,27(4):78-84.
- [4] 郑荣才,耿威,郑超,等. 川东北地区飞仙关组优质白云岩储层的成因[J]. 石油学报,2008,29(6):815-821.
- [5] 杨威,魏国齐,金惠,等. 川东北飞仙关组鲕滩储层发育的主控因素和成因模式[J]. 天然气地球科学,2007,18(2):192-196.
- [6] 管宏林,王恕一,蒋小琼. 普光气田埋藏溶孔特征及识别标志[J]. 天然气工业,2010,30(3):31-34.
- [7] 管宏林,蒋小琼,王恕一,等. 普光气田与建南气田长兴组、飞仙关组储层对比研究[J]. 石油实验地质,2010,32(2):130-135.

2) 水洗后岩心的润湿性向亲水或强亲水方向转化,即岩心的水湿性增强;水洗倍数越大,转化的趋势越强。

3) 水洗后岩心相渗曲线的束缚水饱和度略有增加,残余油饱和度均增大,残余油饱和度下的水相相对渗透率 $K_{rw}(S_{or})$ 均降低,驱油效率降低。岩心渗透率越低,变化越大,反之越小。

4) 水洗后未形成大孔道反而出现了堵塞现象,实际生产中造成水提前突破的主要原因可能是 T_1 层内存在平面与纵向非均质性。

参考文献:

[1] 李继红,曲志浩,陈清华. 注水开发对孤岛油田储集层微观结构的影响[J]. 石油实验地质,2001,23(4):424-428.
 [2] 郭莉,窦松江,王维伦. 港东开发区注水后储集层结构变化规律研究[J]. 江汉石油学院学报,2001,23(增刊):10-12.
 [3] 赵跃华,赵新军,翁大丽,等. 注水开发后期下二门油田储集层特征[J]. 石油学报,1999,20(1):432-491.
 [4] 赵向宏. 改善马岭油田开发效果新途径[J]. 石油勘探与开发,1995,22(2):512-541.
 [5] 林光荣,陈付星,邵创国,等. 马岭油田长期注水对油层孔隙结构的影响[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),2001,

16(6):33-35.
 [6] 邓玉珍,吴素英,张广振,等. 注水开发过程中储层物理特征变化规律研究[J]. 油气采收率技术,1996,3(4):44-52.
 [7] 严科,杨少春,任怀强. 基于油藏开发动态的储层四维模型的建立[J]. 中国石油大学学报,2010,34(1):12-16.
 [8] 何文祥,许雅. 港东开发区水淹前后储层参数变化规律及机理研究[J]. 断块油气田,2010,17(2):191-193,249.
 [9] Lafargue E, Le Thiez P. Effect of water washing on light ends compositional heterogeneity [J]. Org Geochem, 1996, 24 (12) : 1141-1150.
 [10] Palmer S E. Effect of water washing on C_{15} hydrocarbon fraction of crude oils from Northwest Palawan, Philippines [J]. AAPG Bull,1984,68(2):137-149.
 [11] Lafargue E, Barker C. Effect of water washing on crude oil composition [J]. AAPG Bull,1988,72(3):263-276.
 [12] 中国石油勘探开发研究院石油采收率研究所. SY/T 5345-2007 岩石中两相相对渗透率测定方法[S]//北京:石油工业出版社,2007.
 [13] 中国石化胜利油田分公司地质科学研究院. SY/T 5153-2007 油藏岩石润湿性测定方法[S]//北京:石油工业出版社,2007.
 [14] 中国石油勘探开发研究院石油采收率研究所. SY/T 5346-2005 岩石毛管压力曲线的测定[S]//北京:石油工业出版社,2005.

(编辑 徐文明)

(上接第 453 页)

[8] 罗开平,黄泽光,蒋小琼,等. 川东北地区优质碳酸盐岩储层改造机制探讨[J]. 石油实验地质,2011,33(6):559-563.
 [9] 王恕一,蒋小琼,管宏林. 川东北地区普光气田飞仙关组储层孔隙演化[J]. 石油实验地质,2009,31(1):26-30.
 [10] 蔺军,周芳芳,袁国芬. 塔河地区寒武系储层深埋藏白云石化特征[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):13-21,27.
 [11] 杨玉芳,钟建华,陈志鹏,等. 塔中地区寒武-奥陶系白云岩成因类型及空间分布[J]. 石油与天然气地质,2010,31(4):455-462.
 [12] 李得立,谭先锋,夏敏全,等. 东营凹陷沙四段湖相白云岩沉积特征及成因[J]. 断块油气田,2010,17(4):418-422.

[13] 朱光有,张水昌,梁英波,等. 硫酸盐热化学还原反应对烃类的蚀变作用[J]. 石油学报,2005,26(5):48-52.
 [14] 曾德铭,王兴志,王思仪,等. 溶蚀在川东北储层演化中的意义[J]. 西南石油大学学报,2007,29(1):15-18.
 [15] 朱光有,张水昌,梁英波,等. TSR 对深部碳酸盐岩储层的溶蚀改造:四川盆地深部碳酸盐岩优质储层形成的重要方式[J]. 岩石学报,2006,22(8):2182-2194.
 [16] 张建勇,刘文汇,范明,等. TSR 产物对碳酸盐岩储层是否具有改良作用:实验地质学的依据[J]. 海相油气地质,2008,13(2):57-61.

(编辑 叶德燎)