

文章编号: 1674-9057(2018)S-0075-02

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2018.S.030

# 溶蚀模拟新技术及在碳酸盐岩埋藏 溶蚀机制研究中应用

寿建峰, 余敏

(1. 中国石油杭州地质研究院, 杭州 310023; 2. 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室, 杭州 310023)

我国古老海相碳酸盐岩经历深埋高温高压作用、长期成岩叠加改造, 原生孔隙所剩无几, 溶蚀形成的次生孔隙和洞穴是重要的油气储集空间<sup>[1]</sup>。目前, 发生在(近)地表环境下溶蚀作用对规模储层形成的重要性普遍接受。但是, 对于埋藏溶蚀能否规模改善碳酸盐岩储集性能的认识还存在争议。一方面, 现实中存在许多未曾暴露地表但具有高孔、渗碳酸盐岩储层的实例; 另一方面, 也有学者对埋藏溶蚀能有效改善碳酸盐岩储集性能表示怀疑。碳酸盐岩溶蚀模拟实验是解决碳酸盐岩埋藏溶蚀发生条件、过程及其规模的关键技术。

早在 20 世纪 30 年代, 国内外学者陆续开展的碳酸盐岩溶蚀模拟实验, 方法包括旋转盘法、自由漂移法、静态 pH 法、柱塞式高压釜法等, 采用流体与岩石表面反应的实验方式, 侧重于碳酸盐岩溶解动力学方面研究。近些年, 逐渐认识到实际成岩作用中酸性流体是在碳酸盐岩内部孔隙中运移并发生反应, 柱塞样内部溶蚀法逐渐受到关注。为此, 本次实验采用自主设计的高温高压溶解动力学模拟实验装置, 实现逼近真实成岩环境下碳酸盐岩溶蚀实验模拟, 并且装置设计了实时、在线测定岩石样品渗透率演化的功能。

针对碳酸盐岩埋藏溶蚀机制研究, 以往实验侧重于温度和压力控制方面的研究<sup>[2-3]</sup>, 实验流体多采用纯水加酸配制, 忽略了高盐度地层水中离子效应对碳酸盐岩溶蚀的控制作用, 这也是相关学者对当前模拟实验结果提出质疑的焦点。在埋藏背景下, 地层水中复杂的离子成分加剧了碳酸盐岩溶蚀的复杂性。地层水中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  等中性离子会产生离子强度效应, 以及  $\text{SO}_4^{2-}$  产生的离子对效应, 均会提高碳酸盐矿物的溶解度; 同时地层水中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  会产生同离子效应, 导致碳酸盐矿物溶解度的减小。为了明确温度对碳酸盐岩埋藏溶蚀的控制作用, 开展了相同盐度地层水和压力下, 同一碳酸盐岩样品在不同温度下的溶蚀实验。

实验结果表明: 在 50~160 °C 范围内, 当流体和压力等条件相同时, 随温度升高, 碳酸盐岩在含有机酸地层水中的饱和溶蚀量总体呈下降趋势, 该结果与前期模拟实验结果基本一致<sup>[4-5]</sup>。不同的是, 高盐度地层水中碳酸盐岩的溶蚀量与温度关系具有缓慢下降—缓慢上升—快速下降的特征, 而前期实验是持续稳定下降。实验中碳酸盐岩溶蚀量在 80~100 °C 范围内出现明显增加, 或许由于碳酸盐溶解度随温度增加而降低, 而高盐度地层水中盐效应和离子对效应引起碳酸盐矿

收稿日期: 2018-07-24

作者简介: 寿建峰 (1958—), 男, 教授级高工, 石油地质专业, shouif\_hz@petrochina.com.cn。

通讯作者: 余敏 (1983—), 男, 高级工程师, shem\_hz@petrochina.com.cn。

引文格式: 寿建峰, 余敏. 溶蚀模拟新技术及在碳酸盐岩埋藏溶蚀机制研究中应用 [J]. 桂林理工大学学报, 2018, 38 (S): 75-76.

物溶解度增加,两种作用的相互叠加效应导致碳酸盐溶解度与温度的复杂关系。该曲线表明,在埋藏成岩流体背景下,随着埋藏深度增加,升高的地层温度会导致碳酸盐岩埋藏溶蚀量的降低,但在80~100℃范围内形成一个保持溶蚀能力的“溶蚀峰”。

对于碳酸盐岩埋藏溶蚀规模发生窗口的问题,以往实验较多讨论温度和压力控制因素,较少考虑地层水中流体酸度因素。然而,有机酸浓度窗口实验表明,流体酸度才是碳酸盐岩埋藏溶蚀发生的关键,有机酸浓度的增加会促使碳酸盐岩溶蚀量呈指数增加。为获取更加符合地质条件下的埋藏溶蚀窗口条件,需要建立碳酸盐岩溶蚀量随有机酸浓度和地层温度的关系曲线。在埋藏成岩流体背景下,一方面,地层温度增加会导致碳酸盐岩溶蚀量的下降,但在80~100℃范围内具有一个保持碳酸盐岩溶蚀量的“溶蚀峰”;另一方面,地层温度对地层水中有机酸浓度有着重要的控制作用,80~120℃为有机酸的有利保存区,其最高浓度可达10 g/L,低于80℃由于细菌的分解作用、高于120℃由于有机酸脱羧作用均使有机酸的浓度呈减少趋势。碳酸盐岩在埋深不断增加的过程中,流体性质、环境温度和压力均发生改变。

本次研究模拟埋藏条件下不同属性的酸性地层水与碳酸盐岩反应至平衡,通过对比相同温压下,同一碳酸盐岩样品在不同属性酸性地层水中的饱和溶蚀量,在碳酸盐岩埋藏溶蚀机制及其规模发生条件方面获得3点新认识:(1)随着埋藏深度增加,升高的地层温度会导致碳酸盐岩埋藏溶蚀量的降低,但在80~100℃范围内形成一个保持溶蚀能力的温度窗口;(2)在埋藏成岩背景下,有机酸浓度增加会带来碳酸盐岩溶蚀量的突破,促使碳酸盐岩溶蚀量呈指数增加;(2)地下碳酸盐岩埋藏溶蚀窗口有利温度范围在70~100℃,源于该温度阶段碳酸盐岩埋藏溶蚀存在有机酸浓度效应和温度效应叠加所致。

#### 参考文献:

- [1] 沈安江, 赵文智, 胡安平, 等. 海相碳酸盐岩储集层发育主控因素 [J]. 石油勘探与开发, 2015, 42 (5): 545 - 554.
- [2] 范明, 胡凯, 蒋小琼, 等. 酸性流体对碳酸盐岩储层的改造作用 [J]. 地球化学, 2009, 38 (1): 20 - 26.
- [3] 王伟, 黄康俊, 鲍征宇, 等. 不同类型鲕粒灰岩储集层溶解动力学特征 [J]. 石油勘探与开发, 2011, 38 (4): 495 - 502.
- [4] 杨云坤, 刘波, 秦善, 等. 基于模拟实验的原位观察对碳酸盐岩深部溶蚀的再认识 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2014, 50 (2): 316 - 322.
- [5] 余敏, 寿建峰, 沈安江, 等. 碳酸盐岩溶蚀规律与孔隙演化实验研究 [J]. 石油勘探与开发, 2016, 43 (4): 564 - 572.