

岩石矿物成分对酸岩反应速率影响规律研究

张海龙¹, 杨玉才¹, 范立华¹, 陈延祯², 汪翌玥³

(1. 大庆油田有限责任公司井下作业分公司, 黑龙江 大庆 163000; 2. 大庆油田有限责任公司重庆分公司
地质工艺研究中心, 重庆 402660; 3. 成都理工大学能源学院, 成都 610059)

摘要: 分析酸液与岩石的化学反应速率规律是碳酸盐岩储层酸化改造技术研究的核心问题。岩石矿物成分是酸岩反应速率的重要影响因素。探索岩石中矿物成分对酸岩反应速率的影响规律, 既有助于揭示各类矿物之间竞争反应机理, 又可以优化各类型碳酸盐岩改造思路。结合 X 射线衍射分析与酸岩反应实验, 定量测试了不同矿物成分及含量组成下, 酸液与岩石的反应速率。研究表明: ①碳酸盐岩各类矿物中方解石、白云石与反应速率呈正比, 其他矿物与反应速率呈反比; 方解石比白云石反应速率更快。②在灰岩中, 当白云石含量为 0%~15% 与 15%~40% 时, 酸岩反应速率随方解石含量增加升高幅度下降 51.4%; 当其他矿物含量为 0%~15% 与 15%~30% 时, 酸岩反应速率随方解石含量增加升高幅度下降 61%。在白云岩中, 当方解石含量为 0%~4% 与 4%~8% 时, 酸岩反应速率随白云石含量增加升高幅度上升 23%; 当其他矿物含量为 0%~15% 与 15%~35% 时, 酸岩反应速率随白云石含量增加升高幅度减小 99%。

关键词: 碳酸盐岩; X 射线衍射; 矿物成分; 酸岩反应; 酸岩反应速率

中图分类号: TE357 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)10-0233-08

碳酸盐岩分布占全球沉积岩总面积的 20%, 所蕴藏的油气储量占世界总储量的 52%, 中国也有近 $300 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的碳酸盐岩分布, 约占陆上国土面积的 1/3, 其中塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地和华北地区广泛发育, 为潜在的油气勘探区^[1]。就我国油气田分布状况来看, 油气藏区域的区块结构相对复杂, 这就意味着开采难度相对较大, 酸化技术则是碳酸盐岩储层高效开发的重要手段, 其基本原理是按照一定顺序向地层注入一定类型、浓度的酸液和添加剂组成的配方溶液, 溶蚀地层岩石部分矿物或孔隙等, 以提高油气井的产能。其中酸岩反应速率是决定酸化效果关键参数, 在施工的过程中, 需要准确地分析碳酸盐岩内部的矿物成分, 明确矿物含量与酸岩反应速率的变化规律, 由此才能保证施工的顺利进行并提升酸化改造的效果。

碳酸盐岩主要是由方解石和白云石等碳酸盐矿物组成的沉积岩^[1]。有许多学者先后对酸岩反应速率的影响因素进行了研究^[4-12], 研究了温度、压力、注酸排量、裂缝宽度、同离子效应、面容比、酸液性质、孔隙结构等因素对酸岩反应速率的影响规

律。Herman 和 William^[12] 提出不同晶粒的白云石的溶解速率不受矿物学的显著影响。在碳酸盐岩岩石矿物成分中, 方解石与盐酸反应速率最快。据 Lund 等^[2-3] 研究 25 °C 条件下方解石与盐酸反应速率可达到白云石与盐酸反应速率的 500 倍, 白云石与盐酸反应速率其次, 含铁矿物次之, 其他硅质矿物和黏土矿物几乎不与盐酸发生反应。Bybee^[13]、Shen 等^[14] 测试不同酸液与灰岩的反应速率, 发现纯灰岩的酸岩反应速率更大。Taylor 等^[15] 石灰石储层岩石中微量的黏土杂质会引起反应速率降低。李新勇等^[11] 在盐酸质量分数保持不变的条件下, 灰岩与盐酸的反应速率与碳酸盐含量直接相关, 碳酸盐含量越高, 酸岩反应速率越快, 反应越剧烈。

上述研究鲜有实验验证矿物分布对酸岩反应速率影响规律的研究, 本文开展了 X 射线衍射试验和酸岩反应实验, 明确了矿物成分(白云石、方解石及其他矿物)对酸岩反应速率影响规律。

1 酸岩反应理论

1.1 酸岩反应基本原理

酸岩反应是固液的相间反应, 究其本质仍是碳

收稿日期: 2024-02-23

基金项目: 国家自然科学基金(U20A20265)

作者简介: 张海龙(1972—), 男, 山东济南人, 高级工程师, 总地质师, 研究方向为采油气工程; 杨玉才(1984—), 男, 山东无棣人, 高级工程师, 副大队长, 研究方向为采油气工程; 范立华(1982—), 男, 黑龙江绥化人, 高级工程师, 副经理, 研究方向为采油气工程; 陈延祯(1987—), 男, 江西南康人, 高级工程师, 研究方向为采油气工程; 通信作者汪翌玥(1998—), 女, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 研究方向为油气田开发工程。

酸盐岩岩石中的矿物成分与 H^+ 发生化学反应。酸与碳酸盐岩的反应历程可描述为:①酸液中的 H^+ 在岩石表面反应;②被吸附的 H^+ 在岩石表面反应;③反应产物通过传质离开岩石表面。

为了解酸岩反应的基本原理,首先应掌握碳酸盐岩岩石的矿物组成。碳酸盐岩地层岩石由各类矿物组成根据各类矿物含量的不同,可以将碳酸盐岩划分为多种岩石类型,如图1所示。

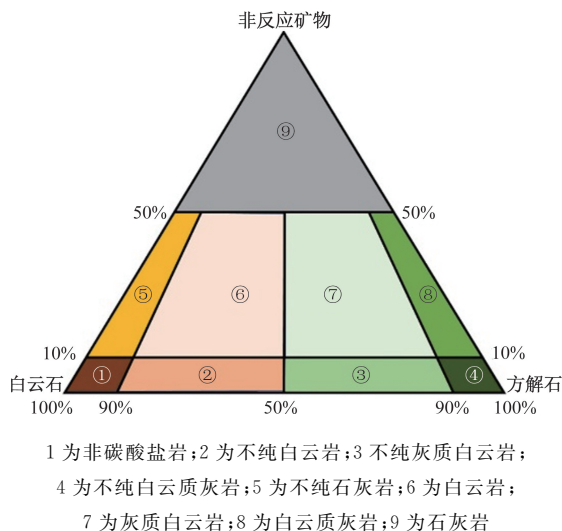
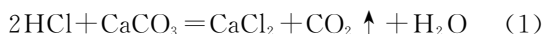


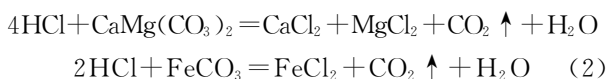
图1 碳酸盐岩矿物成分及命名^[16]

常规碳酸盐岩储层中应用的酸液体系以盐酸为主要成分。盐酸与各类矿物发生的化学反应如下。

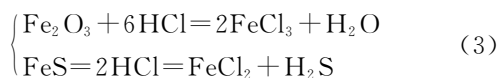
方解石:



白云岩:



菱铁矿:



绿泥石的成分为 $(Mg, Fe, Al)_3(Al, Si)_4O_{10}(OH)_2(Mg, Al)_3(OH)_6$ 不能全部溶于盐酸。

1.2 酸岩反应速率表征方法

酸岩反应速率是指单位时间内酸浓度的降低值,常用单位为 $mol/(L \cdot s)$,或单位时间内岩石单位面积的溶蚀量(或溶蚀速度),常用单位为 $mg/(cm^2 \cdot s)$ 。根据 Guldberg 与 Waage 在总结大量实验基础上提出的“化学反应速度(率)和反应物的有效质量成正比”——质量作用定理,在温度、压力不变时,反应速度与各作用物质浓度的 m 次幂乘积成正比。对于酸岩反应(液固相反应)来说,固相反应物的浓度可视为

不变,在恒温、恒压条件下,酸岩反应速度可写为:

$$-\frac{\partial C}{\partial t} = KC^m \quad (4)$$

式中: C 为反应时间为 t 时刻的酸浓度, mol/L ; $\frac{\partial C}{\partial t}$ 为 t 时刻的酸岩反应速度, mol/L ; m 为反应级数,表示反应物浓度对反应速度的影响程度; K 为反应速率常数, $(mol/L)^{1-m}/s$ 。

酸碱中和滴定法测定酸液的消耗量,利用酸碱中和滴定装置,配制标准碱液滴定反应前后溶液中 H^+ 浓度的变化量 ΔC ,即直接确定酸岩反应前后酸液的消耗量式(5),并考虑面容比影响,由式(6)确定酸岩反应速率:

$$C_{HCl} = \frac{C_{NaOH} V_{NaOH}}{V_{HCl}} \quad (5)$$

$$J = \frac{\Delta C \cdot V}{tS} \quad (6)$$

式中: C_{HCl} 为酸岩反应后酸液浓度, mol/L ; V_{HCl} 为滴定所取酸液体积, mL ; C_{NaOH} 为滴定所用标准碱液浓度, mol/L ; V_{NaOH} 为滴定消耗标准碱液体积, mL ; J 为酸岩反应速率, $mol/(cm^2 \cdot s)$; ΔC 为酸消耗量, mol/L ; t 为反应时间, s ; V 为酸液体积, L ; S 为岩心反应表面积, cm^2 。

研究表明,温度、酸液浓度、岩石类型、同离子效应、酸液类型、酸岩系统的面容比、酸液流速及压力等是影响酸岩反应速率的主要因素。而岩石中的矿物分布情况也是制约酸岩反应的关键。不同的矿物晶体离子半径不相同,其离子键的共价程度高低不一,偶极矩长短各异,键能有强有弱,因此酸与各化合物反应的能力不同。如酸与灰岩的反应比与白云岩的反应速度快,在碳酸盐岩中泥质含量较高时,反应速度也会变慢。

2 酸岩反应实验

2.1 岩石样品

为研究碳酸盐岩储层矿物成分对酸岩反应速率影响,在潼南合川地区选取茅口组、栖霞组、灯影组共 21 块岩石样品,样品为直径 2.5 cm、长度为 7.6 cm。岩石样品深度为 4 139.1~4 340.7 m、5 341.0~5 349.0 m,孔隙度范围为 3.29%~13.32%,渗透率范围为 2.15~54.72 mD。所选样品岩性以灰岩、白云岩为主,主要矿物成分有方解石、白云石与其他矿物(硅质、方铅矿、黏土矿物、云母等)。

2.2 酸液特征

为了排除酸液对酸岩反应速率干扰,所有酸岩

反应速率实验均采用一种酸液——胶凝酸,这也是目前酸化工艺中最常用的酸液。其配方如表 1 所示。

表 1 胶凝酸配方

成分	配方
盐酸/%	20
胶凝剂/%	2.5
高温缓蚀剂/%	3
缓蚀增效剂/%	1
铁离子稳定剂/%	1
助排剂/%	1
转相剂/%	1
黏土稳定剂/%	1
体系黏度/(mPa·s)	30

2.3 实验仪器

2.3.1 X 射线衍射实验仪器

X 射线是一种波长很短且频率很高的电磁波,当 X 射线激发晶体后,不同晶体产生不同的衍射效应并生成相应的谱图。X 射线衍射(X-ray diffraction,XRD)技术可以揭示晶体的结构并用于检测物质精细结构。任何结晶物质都有其特定的化学组成和结构参数,因此其衍射谱图也不同。该技术在石油化工领域可用于未知物相鉴定、催化研究、结晶性聚合物研究等,在石油地质领域则是鉴定矿物及其品质。X 射线衍射实验仪器装置如图 2 所示。

2.3.2 酸岩反应实验仪器

旋转圆盘反应模拟实验应用较广泛,但反应只能针对低黏度酸液体系效果较好,在测试高黏度酸液体系时误差较大。旋转圆盘反应模拟实验方式无法模拟地层酸液与岩石的相对运动状态,刻蚀后



图 2 X 射线衍射实验仪器

的岩石表面也不能真实反映,为准确测定反应动力学参数,采用了改进旋转圆盘酸岩反应实验装置,主要由酸岩反应釜、不同尺寸的岩心夹持器、液体搅拌系统、温度压力控制系统及一些简单的管路和阀门构成。酸岩反应动力学参数测定装置如图 3 所示。

实验流程如图 4 所示。

3 实验结果及分析

3.1 岩石矿物成分分析

X 射线衍射实验共选取了共计 21 个岩样进行矿物成分分析,矿物成分含量结果如表 2 和图 5 所示。



图 3 酸岩反应实验仪器

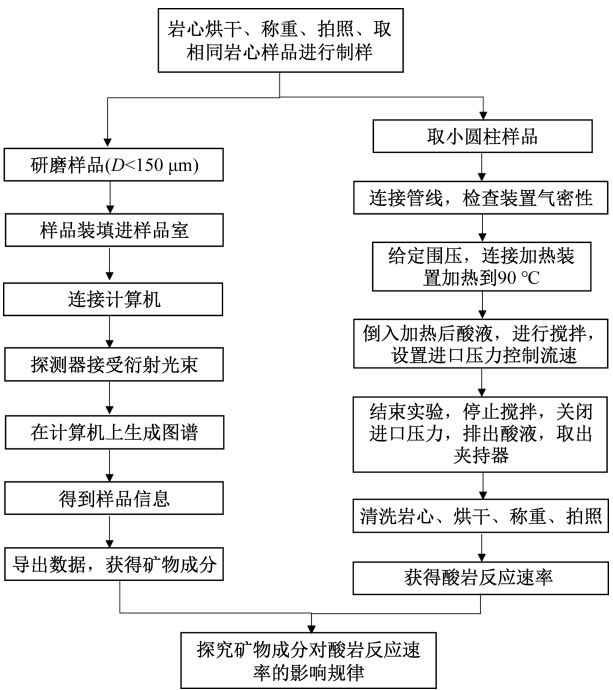


图 4 实验流程

21 块样品矿物成分中方解石含量为 0%~78.07%，平均为 38.78%；白云石含量为 7.29%~92.34%，平均为 45.27%；其他矿物含量为 2.68%~34.34%，平均为 16.03%（其中硅质含量为 0.52%~14.8%，平均为 3.78%；方铅矿含量为 0.12%~8.91%，平均为 1.89%；黏土矿物含量为 0.12%~19.50%，平均为 6.75%；云母含量为 0.72%~7.57%，平均为 3.62%）。

3.2 灰岩与白云岩的反应速率对比

在灰岩中，方解石含量分布在 48%~79%，白

云石含量在 7%~32%，其他矿物含量在 7%~28%，反应速率在 $0.89 \times 10^{-6} \sim 4.98 \times 10^{-6}$ mol/(cm²·s)内,平均反应速率为 2.91×10^{-6} mol/(cm²·s)。在白云岩中，方解石含量为 0%~8%，白云石含量在 80%~93%，其他矿物含量在 2%~21%，反应速率在 $0.432 \times 10^{-6} \sim 1.59 \times 10^{-6}$ mol/(cm²·s)内,平均反应速率 0.86×10^{-6} mol/(cm²·s)。当方解石、白云石含量足够大时，反应速率趋于平稳。

灰岩的平均反应速率比白云岩的反应速率高，约为白云岩反应速率的 4 倍，即可知碳酸盐岩在溶

表 2 X 衍射矿物成分含量

岩心编号	岩性	矿物成分含量/%					
		方解石	白云石	其他矿物			
				硅质	方铅矿	黏土矿物	云母
M1-1	灰岩	70.52	8.93	5.23	0.22	9.89	5.21
M1-2	灰岩	72.10	13.65	4.52	0.54	4.58	4.61
M1-3	灰岩	64.74	7.29	14.80	0.98	9.68	2.50
Q1-1	灰岩	70.26	15.52	7.44	0.22	3.99	3.66
Q1-2	灰岩	63.92	27.02	3.21	0.21	2.64	3.10
Q1-3	灰岩	60.17	21.73	3.00	0.43	10.92	3.85
M2-1	灰岩	78.07	14.71	3.21	0.53	1.06	2.42
M2-2	灰岩	52.03	32.60	2.74	0.44	6.26	5.93
M2-3	灰岩	48.69	36.82	3.01	0.33	6.13	5.13
Q1-4	灰岩	75.40	15.50	3.67	0.54	4.17	0.72
Q1-5	灰岩	73.30	9.15	3.66	0.43	7.75	5.81
Q1-6	灰岩	64.05	14.38	5.23	0.65	11.55	4.14
D4-1	白云岩	0.23	65.43	5.20	8.59	19.50	1.05
D4-2	白云岩	1.69	83.94	1.37	3.56	4.42	5.13
D4-3	白云岩	2.32	81.91	5.62	1.03	2.13	7.09
D4-4	白云岩	4.98	92.34	0.78	0.12	0.41	1.37
D4-5	白云岩	0.00	89.56	0.52	8.91	0.12	0.83
D4-6	白云岩	0.00	79.90	3.10	0.41	15.60	0.99
D4-7	白云岩	7.09	68.52	0.85	5.65	10.32	7.57
D4-8	白云岩	3.58	86.30	1.52	4.32	0.21	4.07
D4-9	白云岩	1.21	85.39	0.65	1.52	10.40	0.83

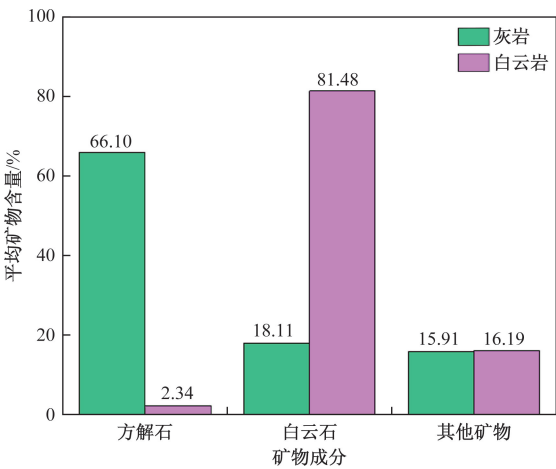


图 5 不同岩性平均矿物含量分布

蚀过程中，对矿物成分有选择性地溶蚀，方解石遇酸反应剧烈，白云石较为缓慢，而石英、黏土矿物等矿物基本不产生溶蚀现象(图 6 和图 7)。

3.3 不同矿物成分含量对酸岩反应速率影响规律

3.3.1 灰岩

统计灰岩中不同白云石含量下酸岩反应速率与方解石含量关系。分别用直线拟合白云石含量为 0%~15%和 15%~40%时，反应速率与方解石含量的关系,如图 8 所示。随方解石含量增加，酸岩反应速率增加。不同白云石含量条件下，随着方解石含量增加酸岩反应速率的增加幅度不同。当白云石含量为 0%~15%时，方解石含量增加 1%，酸岩反应速率升高 0.155×10^{-6} mol/(cm²·s)；当白

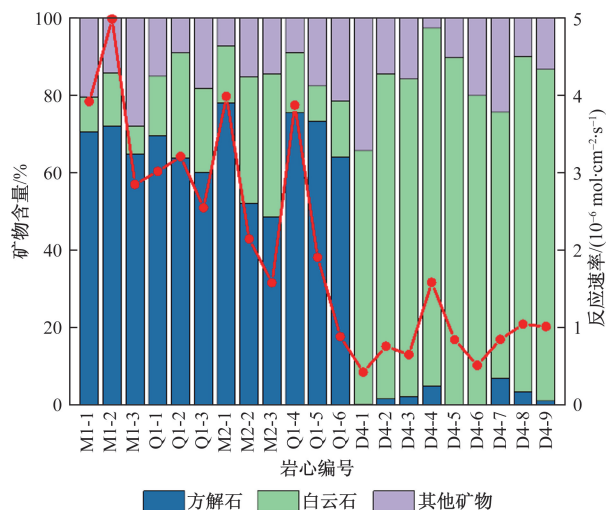


图6 不同岩心矿物含量与酸岩反应速率分布

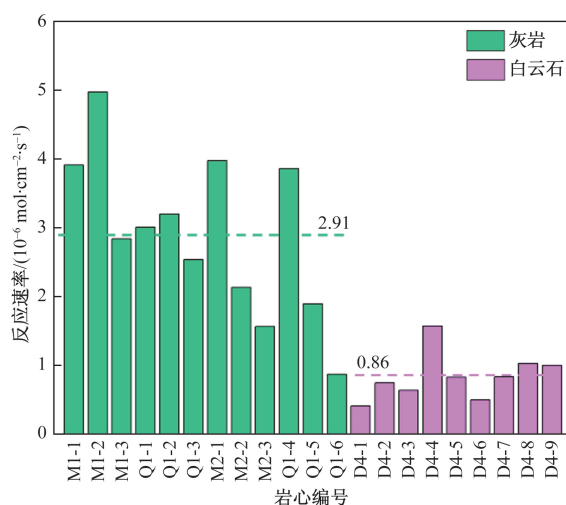


图7 灰岩和白云岩平均反应速率

云石含量为15%~40%时,方解石含量增加1%,酸岩反应速率升高 $0.075 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。白云石含量由0%~15%上升至15%~40%时,酸岩反应速率随方解石含量增加升高幅度下降51.4%。随着白云石含量增加,反应速率对方解石含量的敏感程度降低。

统计灰岩中不同其他矿物含量下酸岩反应速率与方解石含量关系。分别用直线拟合其他矿物含量为0%~15%和15%~30%时,反应速率与方解石含量的关系,如图9所示。随方解石含量增加,酸岩反应速率增加。不同其他矿物含量条件下,随着方解石含量增加酸岩反应速率的增加幅度不同。当其他矿物含量为0%~15%时,方解石含量增加1%,酸岩反应速率升高 $0.0925 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$;当其他矿物含量为15%~30%时,方解石含量增加1%,酸岩反

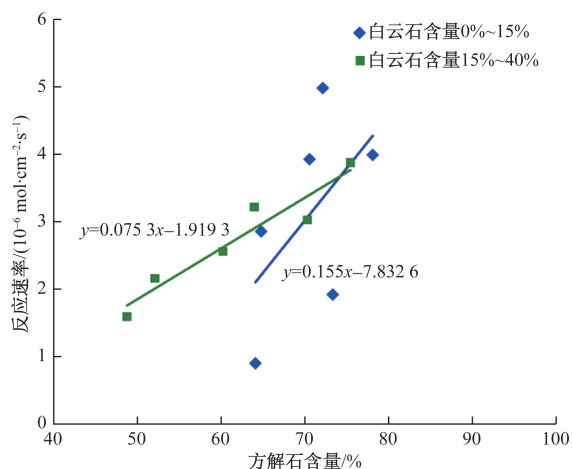


图8 不同白云石含量下反应速率与方解石含量关系

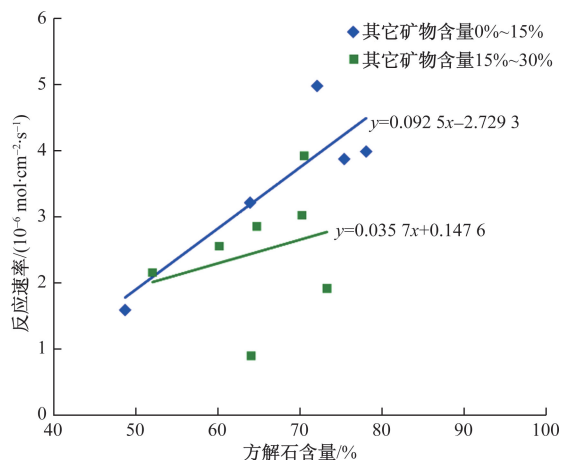


图9 不同其他矿物含量下反应速率与方解石含量关系

应速率升高 $0.0357 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。其他矿物含量由0%~15%上升至15%~30%时,酸岩反应速率随方解石含量增加升高幅度下降61%。随着其他矿物含量增加,反应速率对方解石含量的敏感程度降低。

其他矿物较于白云石对反应速率与方解石的关系影响更大。白云石与酸反应慢,而其他矿物完全不与酸发生反应,其他矿物对反应速率的抑制作用更强。

3.3.2 白云岩

统计白云岩中不同方解石含量下酸岩反应速率与白云石含量关系。分别用直线拟合方解石含量为0%~4%和4%~8%时,反应速率与白云石含量的关系,如图10所示。随白云石含量增加,酸岩反应速率增加。不同方解石含量条件下,随着白云石含量增加酸岩反应速率的增加幅度不同。当方解石含量为0%~4%时,白云石含量增加1%,酸岩反

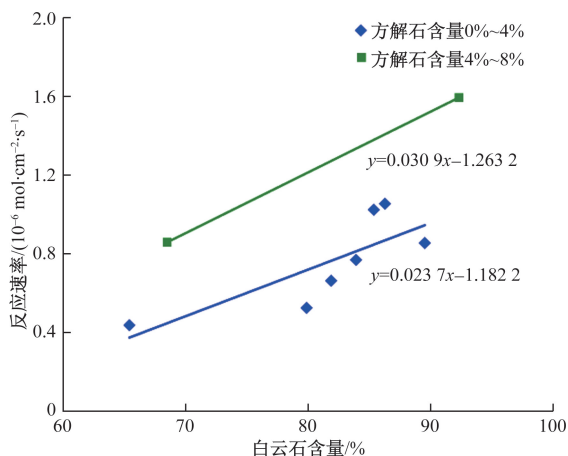


图10 不同方解石含量下反应速率与白云石含量关系图

反应速率升高 $0.023 7 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$; 当方解石含量为 $4\% \sim 8\%$ 时, 白云石含量增加 1% , 酸岩反应速率升高 $0.030 9 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。方解石含量由 $0\% \sim 4\%$ 上升至 $4\% \sim 8\%$ 时, 酸岩反应速率随白云石含量增加升高幅度上升 23% 。随着方解石含量增加, 反应速率对白云石含量的敏感程度升高。

统计白云岩中不同其他矿物含量下酸岩反应速率与白云石含量关系。分别用直线拟合其他矿物含量为 $0\% \sim 15\%$ 和 $15\% \sim 35\%$ 时, 反应速率与白云石含量的关系, 如图 11 所示。随白云石含量增加, 酸岩反应速率增加。不同其他矿物含量条件下, 随着白云石含量增加酸岩反应速率的增加幅度不同。当其他矿物含量为 $0\% \sim 15\%$ 时, 白云石含量增加 1% , 酸岩反应速率升高 $0.000 2 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$; 当其他矿物含量为 $15\% \sim 35\%$ 时, 白云石含量增加 1% , 酸岩反应速率升高 $0.070 9 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。其他矿物含量由 $0\% \sim 15\%$ 上升至 $15\% \sim 35\%$ 时, 酸岩

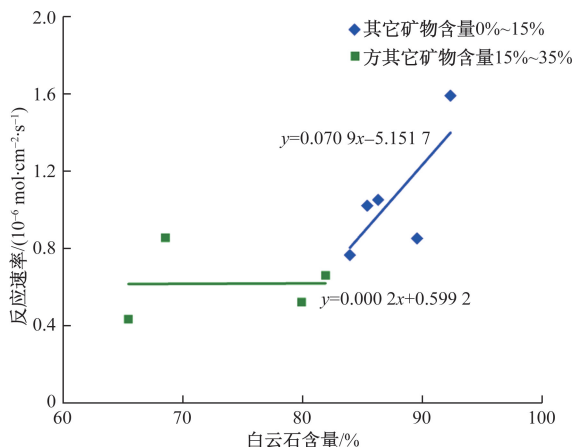


图11 不同其他矿物含量下反应速率与白云石含量关系

反应速率随白云石含量增加升高幅度减小 99% 。随着其他矿物含量增加, 反应速率对白云石含量的敏感程度降低。

其他矿物较于方解石对反应速率与白云石的关系影响更大。不易溶蚀的矿物极大的抑制了反应速率, 方解石对反应速率的促进作用因为含量过小而影响不高。

3.4 不同岩石的矿物成分影响程度分析

对数据采用灰色关联度分析法计算, 对比不同岩性下不同矿物成分对反应速率的影响程度。

1) 灰色关联度分析法

灰色关联法是根据因素之间发展趋势的相似程度作为衡量因素间关联程度的一种方法。将研究对象及待识别对象分别与影响因素的因子所绘制的曲线进行比较并量化, 计算研究/待识别对象之间的关联度来判断待识别对象对研究对象的影响程度。关联系数与关联度计算如式(7)和式(8)所示。

$$\xi_{0i} = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}k + \rho \Delta_{\max}} \quad (7)$$

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k) \quad (8)$$

式中: ξ_{0i} 为关联系数; $\Delta_{\min}$ 为两极最小差; $\Delta_{\max}$ 为两极最大值; ρ 为分辨系数, 取值为 0.5 ; $\Delta_{0i}k$ 为差序列; r_i 为关联系数。

2) 不同岩性中矿物成分对反应速率的影响

由灰色关联度计算结果可知, 在灰岩中, 方解石含量对反应速率的影响占主导地位, 白云石含量对反应速率的影响较小, 因其白云石与酸反应慢, 且在灰岩中白云石含量低。灰岩中其他矿物含量较少, 却仍对反应速率占有较高的影响因素。

在白云岩中, 白云石的含量大小占主要影响因素, 而方解石和其他矿物含量对反应速率的影响相当, 次于白云石含量的影响。由于方解石含量低, 但作为极易被酸蚀的矿物成分, 仍然对白云石中的反应速率产生一定的影响, 其他矿物作为不易反应的矿物也会抑制反应速率。如表 3、表 4 和图 12 所示。

表3 灰岩中灰色关联度计算结果

矿物成分	方解石	白云石	其他矿物
灰色关联度(r_i)	0.79	0.58	0.62

表4 白云岩灰色关联度计算结果

矿物成分	方解石	白云石	其他矿物
灰色关联度(r_i)	0.67	0.81	0.66

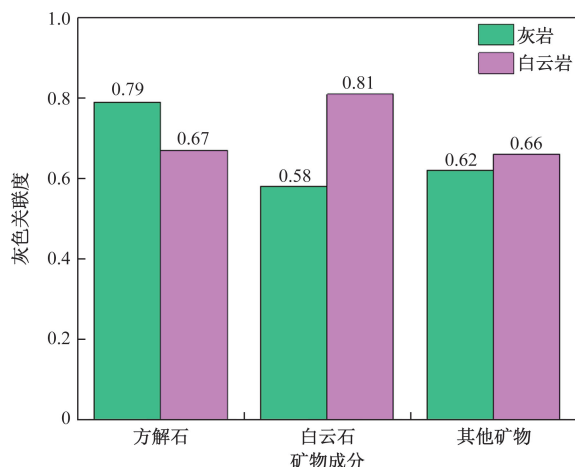


图 12 灰色关联度计算结果

4 结论

(1)在两种不同岩性下,方解石、白云石都与反应速率呈正相关,而其他矿物与反应速率呈负相关。通过两种不同的岩性反应速率对比,灰岩的反应速率远大于白云岩,方解石矿物比白云石矿物反应速率更快,即方解石较白云石更易与酸发生反应,而其他矿物不与酸液发生反应,抑制了酸岩反应速率。

(2)在灰岩中,随方解石含量增加,酸岩反应速率增加。当白云石含量为 0%~15%时,方解石含量增加 1%,酸岩反应速率升高 $0.155 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$;当白云石含量为 15%~40%时,方解石含量增加 1%,酸岩反应速率升高 $0.075 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。随着白云石含量增加,反应速率对方解石含量的敏感程度降低。当其他矿物含量为 0%~15%时,方解石含量增加 1%,酸岩反应速率升高 $0.0925 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$;当其他矿物含量为 15%~30%时,方解石含量增加 1%,酸岩反应速率升高 $0.0357 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。随着其他矿物含量增加,反应速率对方解石含量的敏感程度降低。在白云岩中,随白云石含量增加,酸岩反应速率增加。当方解石含量为 0%~4%时,白云石含量增加 1%,酸岩反应速率升高 $0.0237 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$;当方解石含量为 4%~8%时,白云石含量增加 1%,酸岩反应速率升高 $0.0309 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。随着方解石含量增加,反应速率对白云石含量的敏感程度升高。当其他矿物含量为 0%~15%时,白云石含量增加 1%,酸岩反应速率升高 $0.0002 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$;当其他矿物含量为 15%~35%时,白云石含量增加 1%,酸岩反应速率升高 $0.0709 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。随

着其他矿物含量增加,反应速率对白云石含量的敏感程度降低。

(3)灰岩中白云石矿物含量对反应速率的影响甚微,但在白云岩中白云石的含量对反应速率的影响起主导作用。其他矿物在两种不同岩性下都有重要的影响因素且较大程度抑制了反应速率。方解石在两种不同岩性下都对反应速率产生较高的影响。灰岩中矿物成分对反应速率影响程度为方解石>其他矿物含量>白云石,白云岩中矿物成分对反应速率的影响程度为白云石>方解石>其他矿物含量。

参考文献

- [1] 冯增昭. 碳酸盐岩分类[J]. 石油学报, 1982(1): 11-18.
- [2] LUND K, FOGLER H S, MCCUNE C C. Acidization-I: the dissolution of dolomite in hydrochloric acid[J]. Chemical Engineering Science, 1973, 28(3): 691-700.
- [3] LUND K, FOGLER H S, MCCUNE C C, et al. Acidization-II: the dissolution of calcite in hydrochloric acid[J]. Chemical Engineering Science, 1975, 30(8): 825-835.
- [4] 李力. 用人工模拟裂缝装置研究盐酸/白云岩反应速率的影响因素[J]. 钻采工艺, 2000(1): 30-33.
- [5] 王琨, 詹立, 苟波. 高温致密碳酸盐岩与胶凝酸岩反应速率测试方法研究[J]. 钻采工艺, 2018, 41(3): 41-44.
- [6] 刘如红. 酸岩反应速率影响因素的多元线性回归分析研究[J]. 石油化工应用, 2013, 32(3): 13-15.
- [7] 伊向艺, 吴元琴, 李沁. 马家沟组碳酸盐岩储层酸岩反应速率影响因素实验研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(26): 6575-6578.
- [8] 李莹, 卢渊, 伊向艺. 碳酸盐岩储层不同酸液体系酸岩反应动力学实验研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(33): 9010-9013.
- [9] 李沁. 高黏度酸液酸岩反应动力学行为研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [10] 周少伟, 李小玲, 苏国辉. 碳酸盐岩气藏不同酸液体系酸岩反应动力学实验研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(24): 211-214.
- [11] 李新勇, 吴恒川, 房好青. 微观结构差异对碳酸盐岩酸蚀损伤的影响[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(2): 188-193.
- [12] HERMAN J S, WILLIAM B W. Dissolution kinetics of dolomite: effects of lithology and fluid flow velocity[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1985, 49(10): 2017-2026.
- [13] BYBEE K. Acid fracturing a carbonate reservoir[J]. Pet Technol, 2004, 56: 49-52.
- [14] SHEN X, WANG S B, GUO J C, et al. Effect of carbon chain lengths of cationic surfactant on inhibition rate of acid-rock reaction[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2021, 196: 107793.
- [15] TAYLOR K C, NASR-EL-DIN H A, MEHTA S.

Anomalous acid reaction rates in carbonate reservoir rocks[J]. SPE, 2016, 11(4): 488-496.

[16] 张琪. 采油工程原理与设计[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2000.

Research on the Influence Law of Rock Mineral Composition on the Reaction Rate of Acid Rock

ZHANG Hailong¹, YANG Yucui¹, FAN Lihua¹, CHEN Yanzhen², WANG Zhaoyue³

(1. Daqing Oilfield Co. Ltd., Downhole Operation Branch, Daqing 163000, Heilongjiang, China;

2. Geological Process Research Centre, Chongqing Branch, Daqing Oilfield Co. Ltd., Chongqing 402660, China;

3. Energy College of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Analysing the chemical reaction rate law between acid and rock is the core issue in the research of acidification and transformation technology of carbonate reservoirs. The mineral composition of rock is an important influence factor of acid rock reaction rate. Exploring the influence of rock mineral composition on the acid rock reaction rate not only helps to reveal the competitive reaction mechanism between various types of minerals, but also can optimize the reforming ideas of various types of carbonate rocks. Combining X diffraction analysis and acid-rock reaction experiments, the reaction rates between acid and rock under different mineral compositions and content compositions were quantitatively tested. The results are as follows. ① Among the various types of carbonate rock minerals, calcite and dolomite are positively proportional to the reaction rate, while other minerals are inversely proportional to the reaction rate; calcite has a faster reaction rate than dolomite. ② In tuff, when the content of dolomite is 0%~15% and 15%~40%, the reaction rate of acid rock decreases by 51.4% with the increase of calcite content. When the content of other minerals is 0%~15% and 15%~30%, the acid rock reaction rate decreases by 61% with the increase of calcite content. In dolomite, the acid rock reaction rate increased by 23% with the increase of dolomite content when the calcite content was 0%~4% versus 4%~8%. When the content of other minerals is 0%~15% and 15%~35%, the acid rock reaction rate decreases by 99% with the increase of dolomite content.

Keywords: carbonate rocks; X diffraction; mineral composition; acid rock reaction; acid rock reaction rate