

文章编号:1000-4092(2024)01-154-06

水中固体颗粒对结垢与阻垢的影响及机理*

董梅玉¹,杨海燕²,潘谦宏²,汤颖^{1,3}

(1. 西安石油大学陕西省油气田环境污染控制技术与储层保护重点实验室,陕西 西安 710065; 2. 西安长庆化工集团有限公司,陕西 西安 710068; 3. 西安石油大学油气田化学陕西省高校工程研究中心,陕西 西安 710065)

摘要:结垢对油田油气集输系统危害严重,使用阻垢剂是抑制油田结垢最有效的方法之一。传统的阻垢剂评价方法未考虑油田水中存在的悬浮不溶性固体粒子(黏土、粉砂等)因素是否影响评定结果。以CaCO₃结晶过程为研究对象,采用电导率法研究过饱和溶液中悬浮性固体粒子(碳酸钙粉末、二氧化硅粉末、钙基黏土)对碳酸钙沉积过程的影响以及阻垢剂效果的影响。结果表明:在实验温度为70℃、转速为300 r/min的条件下,阻垢剂在含有悬浮不溶性固体粒子的过饱和溶液中的阻垢效果降低,主要是因为过饱和溶液中的悬浮固体颗粒会加速碳酸钙晶体生长速率,加快CaCO₃晶体的生成,从而影响阻垢效果。本研究证实了常规结垢与阻垢评价方法存在与现场水质不符,容易导致评价结果与现场试验误差较大的情况,需要针对现场水质进行有针对性地评价。

关键词:结垢;阻垢;固体颗粒;碳酸盐垢;水质

文献标识码:A DOI:10.19346/j.cnki.1000-4092.2024.01.021

中图分类号:TE358^{+.5}

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 前言

在石油开采过程中,为了维持地层压力和提高采收率,注水开发已成为一种普遍的开采方式^[1]。但是,注入水进入油气层后会破坏地层水中原有的离子平衡,因而易形成垢结晶^[2]。常见的水垢主要有碳酸盐垢(CaCO₃、MgCO₃等)、硫酸盐垢(CaSO₄、BaSO₄、SrSO₄等)、铁化物垢(FeCO₃、FeS等)。目前,解决油田水垢问题最有效的方法是添加阻垢剂,利用阻垢剂来降低结垢速率,进而减少或抑制油田水垢的形成^[3]。典型的阻垢性能评价方法有静态阻垢评定法、临界pH值法、电导率法、动态模拟法、鼓泡法、极限碳酸盐硬度法、浊度法等,其中,静态阻垢评价法因操作简单易实现、实验周期短、可同时进

行大批量筛选而被广泛使用^[4-7]。其原理是将一定体积、一定浓度的成垢阳离子溶液与成垢阴离子溶液混合,加入阻垢剂,并在一定条件(温度、pH值、时间等)下使一部分成垢阴阳离子生成难溶性物质沉淀,然后用络合滴定法测定溶液中剩余成垢阳离子的浓度,由所测结果与空白测定结果计算阻垢剂的阻垢率^[8]。

石油天然气行业标准SY/T 5673—2020《油田用防垢剂通用条件》中给出了测量钙、钡、锶3种成垢阳离子含量的滴定方法,但实验模拟采出水为只含有成垢阴阳离子纯净水溶液,实际上油田产出水与注入水中除了含有成垢阴阳离子外,还含有大量的不溶性固体颗粒物。存在于溶液中的悬浮性不溶性杂质粒子会影响结垢速度及垢的形貌,进而会

* 收稿日期:2023-02-18;修回日期:2023-04-06;录用日期:2023-04-12。

基金项目:陕西省重点研发计划“油气田钻井废弃物土壤化处理及其资源化利用”(项目编号 2023-YBGY-052),陕西省教育厅重点科学研究计划“基于植物材料的环保型多功能油田污水处理剂开发与作用机制研究”(项目编号 21JY035)。

作者简介:董梅玉(1998—),女,西安石油大学化学工程专业在读硕士研究生(2021—),研究方向为油田防垢与除垢。汤颖(1978—),女,教授,本文通讯联系人,研究方向为油气田环境保护与污染控制,通讯地址:710065 陕西省西安市雁塔区西安石油大学,电话:029-88382693, E-mail: tangying78@xsyu.edu.cn。

对阻垢剂效果评价造成一定影响,导致实验室评价的阻垢剂效果与现场应用效果不符^[9-12]。因此,研究油田水中的杂质粒子对垢样形成的影响具有十分重要的意义。本文以碳酸钙垢形成过程为研究对象,采用电导率法,利用溶液中成垢阴阳离子发生沉淀时造成的电导率值突变,分析垢形成过程中的晶核诱导期、垢晶核形期、垢晶体长大期,研究模拟采出水中的悬浮固体粒子对碳酸钙形成过程的影响,并探究悬浮粒子的存在对阻垢剂效果的影响,为油田结垢评价和阻垢工作提供理论和数据支持。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

氯化钠、结晶氯化钙、无水硫酸钠、乙二胺四乙酸二钠、碳酸氢钠、氯化镁,分析纯,天津市大茂化学试剂厂;氢氧化钠,分析纯,天津市百世化工有限公司;碳酸钙,分析纯,平均粒径为4.2 μm,上海市奉贤奉城试剂厂;二氧化硅,平均粒径为4.5 μm,新沂市林志石英厂;钙基膨润土(黏土),平均粒径为4.1 μm,广东东莞益通塑化有限公司。

SHZ-D(Ⅲ)型循环水真空泵,西安予辉仪器设备有限公司;STARTER 3100C型电导率仪,奥豪斯仪器(上海)有限公司;DF-101S型集热式恒温加热磁力搅拌器,上海秋佐科学仪器有限公司;SB-708型单孔空气泵,中山市松宝电器有限公司。

1.2 实验方法

参照中国石油天然气行业标准SY/T 5673—2020《油田用防垢剂通用条件》,分别配制标准CaCl₂、Na₂CO₃溶液;将150 mL的去离子水、50 mL的CaCl₂溶液、50 mL的Na₂CO₃溶液以及一定量的固体颗粒加入恒温容器中,混合成含固体颗粒的碳酸钙过饱和溶液;安装实验仪器,接通电源,待溶液的温度稳定在70 ℃时,用电导率仪测量过饱和溶液的电导率随时间的变化,并从混合开始以30 s的时间间隔记录电导率值。实验测试在磁力搅拌器中进行,以恒定速度搅拌被测溶液,确保测试结果的平行性。每次实验前,用去离子水洗涤电导电极和搅拌头,以免痕量沉淀成为结晶核,导致实验数据不可靠。

2 结果与讨论

2.1 黏土粉末对碳酸钙沉淀过程的影响

在温度为70 ℃、转速为300 r/min下,黏土加量(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%)对垢沉积过程的影响结果如图1所示。不同黏土加量下,电导率值随时间的变化趋势一致。随着黏土加量的越大,电导率随时间的延长下降速率越大,即反应速率越快^[13-15]。由此可知,黏土颗粒的加入会诱导碳酸钙快速沉淀。碳酸钙在黏土的诱导下沉积过程分为:①诱导期:过饱和溶液形成之初至首个微小晶粒形成阶段;②晶核形成期:在过饱和阶段后,由于温度或浓度局部变化,或一些杂质粒子影响导致局部过饱和度过高,晶体分子或离子重新排列形成微小固体核心即为结晶核;③晶体长大期:成核阶段完成后,垢晶核不断吸附溶液中的碳酸钙分子继续生长。实验所用溶液中的初始Ca²⁺和CO₃²⁻浓度大,几乎观察不到诱导期阶段。黏土加量由0.1%增至0.5%时,晶核形成期由5 min缩短到3 min,与未加黏土过饱和溶液相比,晶核形成期大幅度缩短,且黏土含量越多,晶核形成期越短,越快的进入晶核长大期^[16-17]。黏土加量由0.4%增加至0.5%时,电导率值略有升高,这可能是由于颗粒对碳酸钙结晶的诱导作用以及颗粒在溶液的分散性、稳定性等因素共同作用的结果。

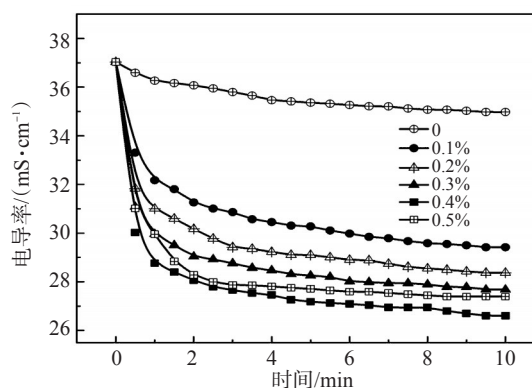


图1 黏土加量对碳酸钙沉积过程电导率的影响
Fig.1 Effect of clay dosage on the conductivity during calcium carbonate deposition process

2.2 二氧化硅粉末对碳酸钙沉淀过程的影响

在温度为70 ℃、转速为300 r/min的条件下,二氧化硅加量(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%)对碳酸钙垢沉

积过程的影响如图2所示。在二氧化硅粉末的诱导下碳酸钙沉积过程依旧分为诱导期、晶核形成期、晶体长大期。随着二氧化硅加量的增大,碳酸钙晶体形成速率加快。由此可得出,二氧化硅粒子的加入能加快碳酸钙晶体反应速率。二氧化硅含量由0.1%增加至0.4%,晶核形成时间由5 min缩短为3.5 min,与未加二氧化硅粒子的过饱和溶液相比,晶核形成速率和晶粒长大速率有所增加^[18]。二氧化硅的加入增大了碳酸钙的沉积速率,促进了碳酸钙的沉积^[19-20]。

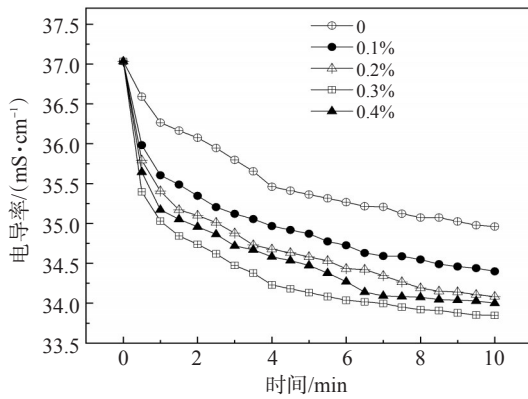


图2 二氧化硅加量对碳酸钙沉积过程电导率的影响
Fig.2 Effect of silicon dioxide dosage on the conductivity during calcium carbonate deposition process

2.3 碳酸钙粉末对碳酸钙沉淀过程的影响

在温度为70℃、转速为300 r/min的条件下,碳酸钙加量(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%)对碳酸钙沉积过程的影响如图3所示。在碳酸钙粉末的诱导下碳酸钙的沉积过程仍旧分为诱导期、晶核形成期、晶粒长大期。由图3可知,碳酸钙粉末加量由

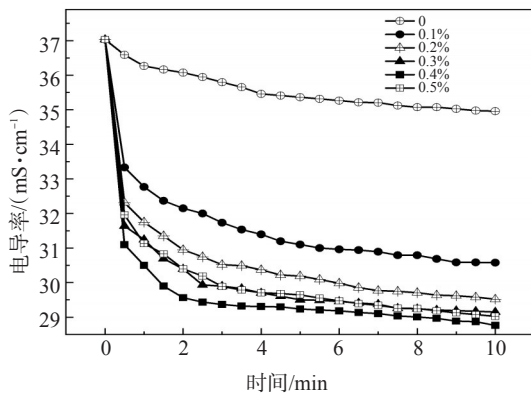


图3 碳酸钙加量对碳酸钙沉积过程电导率的影响
Fig.3 Effect of calcium carbonate dosage on the conductivity during calcium carbonate deposition process

0.1%增至5%时,晶核形成期由4.5 min缩至2.5 min,与未加碳酸钙粉末的过饱和溶液相比,晶核形成速率加快^[21-22]。由此说明,碳酸钙粉末的存在可加速垢晶体的生成,促进了碳酸钙的沉积^[23]。

2.4 固体颗粒对阻垢剂效果的影响

在温度为70℃、剪切速率为300 r/min下,在过饱和溶液中分别加入600 mg/L的水解聚马来酸酐(HPMA)或1000 mg/L的柠檬酸(CA)阻垢剂,并加入0.3%的二氧化硅粉末(或0.4%黏土、0.4%碳酸钙粉末),测试碳酸钙沉淀过程中电导率的变化,并与空白过饱和溶液和仅加入阻垢剂的空白过饱和溶液的电导率作对比,如图4和图5所示。过饱和溶液中加入阻垢剂后晶体形成速率较不加阻垢剂的空白溶液相比大幅度减小。过饱和溶液中加入阻垢剂后,碳酸钙结晶过程需克服的能量增大,反应速率常数减小,晶体形成速率降低。在含有悬浮固

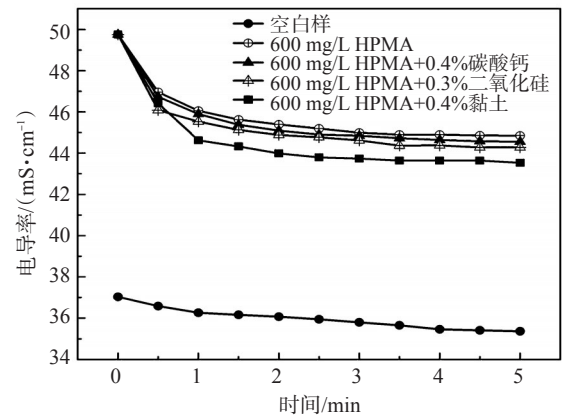


图4 固体颗粒对HPMA阻垢剂效果影响
Fig.4 Influence of solid particles on the effect of HPMA scale inhibitor

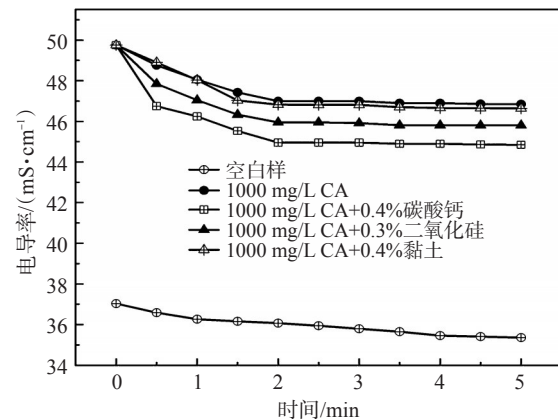


图5 固体颗粒对CA阻垢剂效果影响
Fig.5 Influence of solid particles on the effect of CA scale inhibitor

体颗粒的溶液中加入阻垢剂后, 阻垢剂效果明显降低, 其中碳酸钙粉末对 HPMA 阻垢效果的影响最小, 对 CA 阻垢效果的影响最大。黏土对 HPMA 阻垢效果的影响最大, 对 CA 阻垢效果的影响最小。总体上, 固体粒子的存在严重影响阻垢剂的阻垢效果^[24]。

2.5 作用机理分析

根据晶体动力学理论, 油田水成垢的过程是一个混合结晶过程。当碳酸钙溶液过饱和到一定程度时, 溶质分子需要克服大量能量以形成晶体状态^[25-30]。在此过程中, 过饱和溶液中的悬浮不溶性颗粒 (SPM) 在一定程度上降低了碳酸钙晶体成核的势能, 诱发结晶核的形成, 加速沉积速率, 作用机理如图 6 所示。同时, 由于颗粒物自身的吸附作用、静电作用、螯合作用等可能会吸附阻垢剂分子, 造成阻垢剂有效浓度降低。不同颗粒物因其粒子大小以及自身的吸附性的不同, 对不同的阻垢剂效果影响也不同^[31-33]。

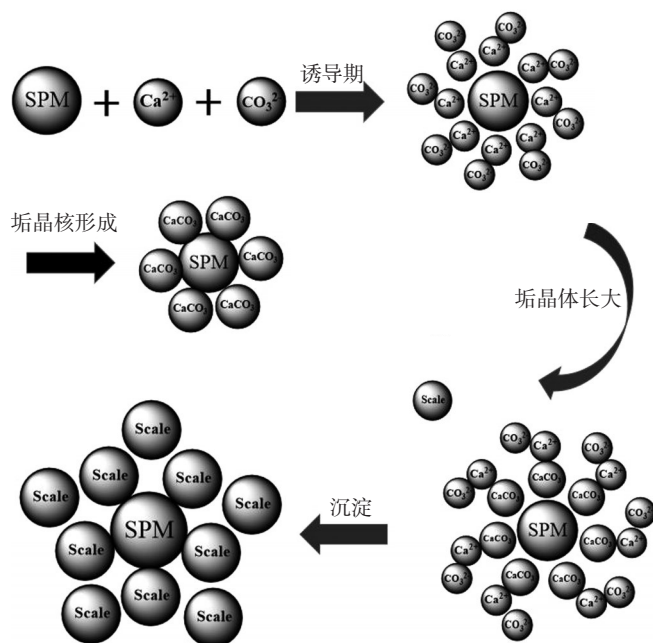


图 6 垢晶体在固体粒子作用下沉积过程示意图

Fig.6 Deposition process of scale crystal under the action of solid particles

3 结论

油田水中悬浮不溶性固体粒子对 CaCO_3 结晶过程有促进作用。在结晶过程中固体粒子为碳酸钙

晶体生长提供晶核, 促进沉积发生。

在含有悬浮不溶性固体粒子的过饱和溶液加入阻垢剂后, 因固体粒子加快垢结晶速率, 导致单位时间内垢结晶速率大于阻垢剂分子影响垢晶体生长速率, 阻垢剂效果受到影响, 且悬浮粒子加量越大越有利于垢的沉积。

实验证实了结垢与阻垢评价方法与现场水质不符, 容易导致评价结果与现场试验误差较大的情况, 需要针对现场水质进行针对性评价。

参考文献:

- [1] YOUSEF M, KANEEZ F H. Antiscalting properties of novel maleic-anhydride copolymers prepared via iron (II) chloride mediated ATRP[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2014, 131(4): 3-5.
- [2] 李洪建, 孟雪, 李然, 等. 影响硫酸钡阻垢效果因素实验研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2014, 36(1): 139-144.
LI H J, MENG X, LI R, et al. Experimental study on factors affecting the effect of barium sulfate scale inhibition[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Natural Science Edition), 2014, 36(1): 139-144.
- [3] HAI A Z, WAAEEM S S, RADWAN A. Synthesis of poly (citric acid-co-glycerol) and its application as an inhibitor of CaCO_3 deposition[J]. Materials, 2019, 12(22): 2-5.
- [4] LI X C, GAO B Y, YUE Q Y. Effect of six kinds of scale inhibitors on calcium carbonate precipitation in high salinity wastewater at high temperatures [J]. Journal of Environmental Sciences, 2015, 29(3): 124-130.
- [5] GUO X R, QIU F X, DONG K. Preparation and application of copolymer modified with the palygorskite as inhibitor for calcium carbonate scale[J]. Applied Clay Science, 2014, 99: 4-6.
- [6] 王苗苗, 韩龙飞, 艾先婷, 等. 硫酸钡阻垢剂的合成及阻垢性能研究[J]. 化学工程, 2022, 50(8): 51-55.
WANG M M, HAN L F, AI X T, et al. Research on synthesis and scale inhibition performance of barium sulfate inhibitor[J]. Chemical Engineering, 2022, 50(8): 51-55.
- [7] 聂宗利, 武玉民, 张君, 等. 阻垢剂的阻垢性能评价方法[J]. 应用化工, 2011, 40(5): 875-879.
NIE Z L, WU Y M, ZHANG J, et al. Evaluation methods for scale inhibitor[J]. Applied Chemical Industry, 2022, 50(8): 51-55.
- [8] 雷武, 夏明珠, 王风云, 等. 冷却水系统中阻垢剂性能的评定方法[J]. 化工进展, 2002, (4): 275-277.
LEI W, XIA M Z, WANG F Y, et al. Methods of evaluation of scale inhibitors[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2002, (4): 275-277.

- [9] JACK C, MICHAEL L. Crystallization kinetics of amorphous calcium carbonate in confinement[J]. *Chemical Science*, 2019, 10(19): 3-7.
- [10] 靳学利, 李明东, 尤晓宇. 硫酸铵、镁、锰复盐结晶动力学研究[J]. *有色金属科学与工程*, 2022, 13(1): 1-7.
JIN X L, LI M D, YOU X Y. Study on crystallization kinetics of ammonium sulfate, magnesium and manganese double salt [J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2022, 13(1): 1-7.
- [11] JING G L, TANG S, LI X X, et al. The analysis of scaling mechanism for water-injection pipe columns in the Daqing Oilfield [J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2017, 10(S1): 2-8.
- [12] JAFAR M M A. A review of green scale inhibitors: Process, types, mechanism and properties [J]. *Coatings*, 2020, 10(10): 4-6.
- [13] HUANG H H, QI Y, LIU B L. Synthesis and characterization of scale and corrosion inhibitors with hyper-branched structure and the mechanism [J]. *New Journal Chemistry*, 2017, 41(20): 3-20.
- [14] 黄晶, 罗戏雨, 陈元虎, 等. 油田注水结垢及阻垢剂研究进展[J]. *当代化工*, 2019, 48(1): 183-186.
HUANG J, LUO X Y, CHEN Y H. Research progress in scale formation and scale inhibitors in oilfields [J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2019, 48(1): 183-186.
- [15] 王洋洋, 刘庆旺, 范振忠, 等. 油田常用阻垢剂的研究进展[J]. *石油化工*, 2021, 50(11): 1222-1228.
WANG Y Y, LIU Q W, FAN Z Z, et al. Research progress of common scale inhibitors in oilfield [J]. *Petrochemical Technology*, 2021, 50(11): 1222-1228.
- [16] 解道雷, 李天国, 徐晓军, 等. 反渗透阻垢剂的合成、应用及机理研究进展[J]. *材料导报*, 2016, 30(23): 29-37.
XIE D L, LI T G, XU X J, et al. Syntheses, Applications and mechanism of reverse osmosis scale inhibitors [J]. *Materials Reports*, 2016, 30(23): 29-37.
- [17] 张冰如, 王森, 曹晓静, 等. 阻垢剂阻 BaSO₄垢性能的电导滴定评价法[J]. *应用化学*, 2007, (4): 429-433.
ZHANG B R, WANG S, CANG X J, et al. Evaluation of conductivity titration on inhibiting performance of antiscalants on BaSO₄ [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2007, (4): 429-433.
- [18] SOHEIL A, TUOMAS K. Dynamic modeling and semibatch reactive crystallization of calcium carbonate through CO₂ capture in highly alkaline water [J]. *Journal of CO₂ Utilization*, 2020, 38: 366-374.
- [19] SHENG K, GE H H, HUANG X, et al. Formation and inhibition of calcium carbonate crystals under cathodic polarization conditions [J]. *Crystals*, 2020, 10(4): 275.
- [20] ALINCE B, BEDNAR F. Deposition of calcium carbonate particles on fiber surfaces induced by cationic polyelectrolyte and bentonite [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2001, 190(1): 71-79.
- [21] 鱼涛, 屈撑囤, 范代娣, 等. 垢晶体在黏土颗粒表面沉积过程及影响因素[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(5): 699-704.
YU T, QU C T, FAN D D, et al. The processes and influencing factors of scale crystal depositing on the surface of clay particles [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2017, 47(5): 699-704.
- [22] 张小霓, 于萍, 罗运柏, 等. 溶液电导率法对碳酸钙结晶动力学研究[J]. *应用化学*, 2004, 82(2): 187-191.
ZHANG X N, YU P, LUO Y B, et al. Study on kinetics of formation of CaCO₃ crystal by solution conductivity measurement [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2004, 82(2): 187-191.
- [23] 李海涛, 李然, 刘涛, 等. 阻垢剂对硫酸钡结晶动力学参数影响研究[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2022, 44(5): 175-184.
LI H T, LI R, LIU T, et al. The study of effect of inhibitors on BaSO₄ crystallization kinetic parameters [J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2022, 44(5): 175-184.
- [24] 凌革, 李张洁, 李宁博, 等. 油田开发用绿色阻垢剂的研究进展[J]. *油田化学*, 2022, 39(3): 564-570.
LING G, LI Z J, LI N B, et al. Research progress of green scale inhibitor in oilfield development [J]. *Oilfield Chemistry*, 2022, 39(3): 564-570.
- [25] 陈明利, 刘红亮, 邢志辉, 等. 南梁西吴堡作业区结垢油井治理技术的探索及应用[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2017, 37(5): 108-109.
CHEN M L, LIU H L, XING Z H, et al. Exploration and application of scaling oil well treatment technology in Nanliang west Wubao operation area [J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2017, 37(5): 108-109.
- [26] 姚茂堂, 刘举, 袁学芳, 等. 高温高压凝析气藏井筒结垢及除垢研究[J]. *石油与天然气化工*, 2020, 49(4): 73-77.
YAO M T, LIU J, YUAN X F, et al. Study on wellbore scaling and descaling in high temperature and high pressure condensate gas reservoirs [J]. *Chemical Engineering of Oil & Gas*, 2020, 49(4): 73-77.
- [27] YOUSEF M A, KANEZ F H. Potential kinetic model for scaling and scale inhibition mechanism [J]. *Desalination*, 2016, 393: 188-193.
- [28] 龚伟, 李美兰, 杨文凯. 端羧基型超支化聚合物在阻垢中的应用[J]. *水处理技术*, 2019, 45(4): 63-67.
GONG W, LI M L, YANG W K, et al. Application of carboxyl-terminated hyperbranched polymer in scale inhibition [J]. *Technology of Water Treatment*, 2019, 45(4): 63-67.
- [29] 姜翠玉, 苏明瑾, 梁书源, 等. 聚环氧琥珀酸对油田污水中硫

- 酸锶/钡垢的阻垢性能及阻垢机制研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(1): 169-175.
- JIANG C Y, SU M J, LIANG S Y, et al. Research on mechanism and scale inhibition performance of PESA on $\text{SrSO}_4/\text{BaSO}_4$ in oilfield sewage [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(1): 169-175.
- [30] MUHAMMAD S K, IBNELWALEED H, MOHAMED M. Oilfield scale formation and chemical removal: A review [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018, 171: 127-139.
- [31] 何举涛, 刘伟, 程占全, 等. 环江油田井筒结垢机理研究[J]. 石化技术, 2022, 29(1): 91-92.
- HE J T, LIU W, CHENG Z Q, et al. Study on wellbore scaling mechanism in Huanjiang Oilfield [J]. Petrochemical Industry Technology, 2022, 29(1): 91-92.
- [32] 李国香. 油井腐蚀结垢机理及治理措施浅析[J]. 石化技术, 2017, 24(9): 189.
- LI G X. Analysis of oil well corrosion and scaling mechanism and treatment measures [J]. Petrochemical Industry Technology, 2017, 24(9): 189.
- [33] 朱志良, 张冰如, 苏耀东. PBTCA及马-丙共聚物对碳酸钙垢阻垢机理的动力学研究[J]. 工业水处理, 2000, 40(2): 22-25.
- ZHU Z L, ZHANG B R, SU Y D. Kinetic study of inhibition mechanism of PBTCA and AA-MA copolymer on CaCO_3 scale [J]. Industrial Water Treatment, 2000, 40(2): 22-25.

Effect and Mechanism of Solid Particles on Scaling and Inhibition

DONG Meiyu¹, YANG Haiyan², PAN Qianhong², TANG Ying^{1,3}

(1. Shaanxi Province Key Laboratory of Environmental Pollution Control and Reservoir Protection Technology of Oilfields, Xi'an Petroleum University, Xi'an, Shaanxi 710065, P R of China; 2. Xi'an Changqing Chemical Group Company Ltd, Xi'an, Shaanxi 710068, P R of China; 3. Shaanxi University Engineering Research Center of Oil and Gas Field Chemistry, Xi'an Petroleum University, Xi'an, Shaanxi 710065, P R of China)

Abstract: The use of scale inhibitors is one of the most effective ways to inhibit scale formation in oilfield oil and gas gathering and transmission systems. The traditional evaluation method of scale inhibitor does not consider whether the suspended insoluble solid particles (clay, silt, etc.) in oilfield water affect the evaluation results. Taking CaCO_3 crystallization process as the research object, the influence of suspended solid particles (calcium carbonate powder, silicon dioxide powder, calcium-based clay) in supersaturated solution on the calcium carbonate deposition process and the effect of scale inhibitor were studied by conductivity method. The experimental results showed that at the experimental temperature of 70 °C and speed of 250 r/min, the scale inhibition effect of the scale inhibitor in the supersaturated solution containing suspended insoluble solid particles was reduced, mainly because the suspended solid particles in the supersaturated solution would accelerate the growth rate of calcium carbonate crystals, accelerate the formation of CaCO_3 crystals, and thus affect the scale inhibition effect. This study confirmed that the conventional scaling and scale inhibition evaluation methods are not consistent with the field water quality, which is easy to lead to large errors between the evaluation results and the field test. It is necessary to carry out targeted evaluation for the field water quality.

Keywords: scaling; scale inhibition; solid particles; carbonate scale; water quality