

# Study and Performance Evaluation of a New Barium-strontium Scale Inhibitor

Weihoa Wang, Weiwu Chen, Ting Gao, Jifang Song

The Third Oil Production Plant of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Yinchuan Ningxia  
Email: ww3\_cq@petrochina.com.cn

Received: Jan. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Mar. 13<sup>th</sup>, 2019; published: Apr. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

With the progress of development in Jiyuan Oilfield, the problems of scaling were severe in gathering and water injection system, which seriously affected the normal oil production. Through the analysis of reservoir water type, compatibility test and scaling products, etc., the major scaling type and its scaling mechanism in the reservoir were clarified. A new type of barium-strontium scale inhibitor was synthesized. The evaluation results show that the scale inhibitor can destroy the crystal form of scale, and also has the effect of charge dispersion and chelating solubilization.

## Keywords

Jiyuan Oilfield, Scaling Mechanism, Barium-strontium Scale Inhibitor

---

# 一种新型钡锶阻垢剂的研究及性能评价

王伟华, 陈威武, 高挺, 宋继芳

中石油长庆油田分公司第三采油厂, 宁夏 银川

作者简介: 王伟华(1983-), 男, 高级工程师, 现主要从事采油工艺研究等方面的工作。

Email: ww3\_cq@petrochina.com.cn

收稿日期: 2019年1月7日; 录用日期: 2019年3月13日; 发布日期: 2019年4月15日

## 摘要

姬塬油田随着开发过程的进行, 集输及注水系统结垢问题突出, 严重影响正常生产。通过对油层水型分析、配伍试验以及结垢产物等方面的分析研究, 明确了油层主要垢型及结垢机理, 合成出了新型钡锶阻垢剂。评价结果表明该阻垢剂能破坏垢体晶型, 同时还有电荷分散和螯合增溶作用。

## 关键词

姬塬油田, 结垢机理, 钡锶阻垢剂

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

姬塬油田 C8 油层主要集中在 Q1、Q2、Q3、Q4、Q5 等区块。共有增压站 24 座, 使用数字化增压橇 25 台。现场调研发现, 有 8 座增压橇不同程度出现结垢现象, 造成增压橇产进压力上升、液位计堵塞等问题, 影响增压橇的正常运行[1] [2]。其中, Z1、Z2、Z3 和 Z4 等站点结垢尤为严重。

C8 油层主力区块注水井 236 口, 欠注井合计 58 口(清水 21 口, 污水 37 口)。其中, 化堵欠注井 17 口, 日欠注 118 m<sup>3</sup>; 其余 41 口欠注井中, 14 口投注初期就欠注, 另外 27 口随着注水时间延长注入压力逐渐上升[3] [4]。2013~2016 年实施降压增注措施 227 井次, 措施后油压由 18.8 MPa 降至 16.8 MPa, 当年措施有效期 120 d, 单井日增注 8 m<sup>3</sup>。主要表现为有效期短、周期性措施井多(如 Q3 区块有 16 口井重复实施 38 次)。

## 2. 结垢及地层堵塞机理研究

### 2.1. 储层物性分析

储层岩石碎屑以石英、长石为主, 填隙物以高岭石含量为最高。平均孔隙度 8.13%, 渗透率 0.26 mD, 属超低渗油层。孔隙类型以溶孔为主; 喉道分选较好, 属微细喉道; 储层润湿性表现出中性 - 偏亲水特征, 储层为中等偏强水敏性地层[5] [6]。

## 2.2. 水质分析

对 C8 油层的水质进行分析发现(见表 1), 采出水及站内混合水(注入水)水体不稳定, 富含成垢离子且自身具有结垢趋势。同时水体中含有大量铁离子, 系统存在腐蚀。

Table 1. The analysis water ion

表 1. 水质离子分析

区块	注水站	pH 值	离子质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )							总矿化度 /mg·L <sup>-1</sup>	水型	
			Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup> /Ba <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Q1	Z5 (清)	7.20	1109.1	227.56	119.74	-	1074.40	2615	-	163.25	4444.39	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Q2	Z6 (污)	7.09	4865.3	1983.60	36.82	-	9903.05	1326.9	-	400.72	18516.40	CaCl <sub>2</sub>
	Z7 (清)	7.55	990.66	457.43	168.15	-	1011.94	2382.2	-	87.14	5107.49	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Q5	Z8 (污)	7.58	3040.9	1771	30.69	1533.7	7178.63	765.52	-	285.36	13072.20	CaCl <sub>2</sub>
	Z9 (清)	7.39	1198.4	556.61	72.42	-	1200.15	2456.2	-	42.50	5531.42	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Q4	Z10 (污)	7.25	3873.7	2236.50	6.14	1593	9748.75	36.22	-	291.43	16192.80	CaCl <sub>2</sub>
	Z11 (清)	7.10	661.6	246.93	193.93	-	1106.04	1193.6	-	60.71	3462.76	MgCl <sub>2</sub>
Q3	Z12 (清)	7.74	895.51	174.07	94.51	-	905.42	1290.7	-	182.14	3542.33	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Z12 (污)	7.06	4507.8	1143.60	67.51	-	8321.89	954.84	-	242.86	15238.50	MgCl <sub>2</sub>

## 2.3. 垢样分析

### 2.3.1. 垢样溶蚀试验

管线不同区域的垢样测试结果如表 2 所示, 可以看出酸溶蚀率大于 30% 的垢样占总垢样数的 58.8%, 说明垢样中含有碳酸盐垢; 酸碱不溶物质量分数大于 30% 的垢样占总垢样的 76%, 说明垢样中除含有碳酸盐垢外, 还含有大量的硫酸盐垢及其他不溶物。

Table 2. The corrosion experiment of scale sample

表 2. 垢样溶蚀试验

编号	样品名称	水溶率/%	有机溶蚀率/%	酸溶蚀率/%	碱溶蚀率/%	不溶物溶蚀率/%
1	Z3 缓冲罐沉积垢	1.23	2.88	35.11	2.47	59.54
2	Z3 增压撬垢	0.60	0.03	56.40	0.22	42.75
3	Z3 增压撬出口管线垢	1.92	2.81	34.16	2.92	60.11
4	Z13 增压撬垢	2.94	18.79	77.94	0.13	0.20
5	Z14 垢	5.79	7.59	9.56	4.79	72.27
6	Z15 垢	0.35	2.80	7.25	1.15	88.45
7	Z16 过滤器垢	1.36	7.22	23.24	2.35	65.83
8	Z17 垢	1.10	14.68	70.22	3.15	10.85
9	J2 井管线垢	0.43	2.70	8.64	2.31	85.92
10	J3 井垢	1.10	6.59	0.56	2.45	89.30
11	J1 井垢	1.17	1.04	77.30	2.73	18.93
12	J4 井垢	0.17	9.74	89.83	0.04	0.22
13	J5 井垢	0.55	0.76	10.22	2.02	86.45
14	J6 井垢	0.65	4.77	30.22	4.15	60.21
15	J7 井垢	0.85	3.64	38.32	2.85	54.34
16	J8 井垢	0.45	2.40	15.75	1.20	80.20
17	J9 井垢	0.38	0.12	62.50	4.50	32.50

### 2.3.2. 垢样检测

选取 J1 井的垢样进行分析, 从电镜图(见图 1)可以看出, 垢样堆积致密。对垢样进行 XRD 分析发现(见图 2), 垢样的主要成分是  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{BaSO}_4$ 、 $\text{SrSO}_4$ 。

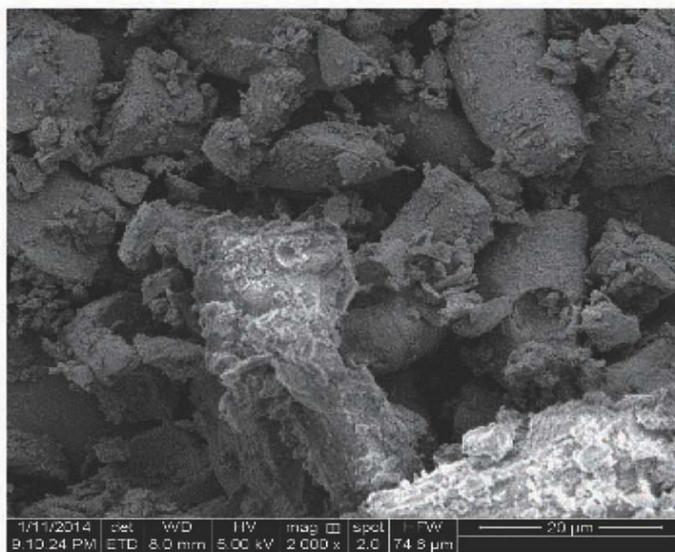


Figure 1. Scanning electron microscope diagram of scale in Well J1  
图 1. J1 井垢扫描电镜图

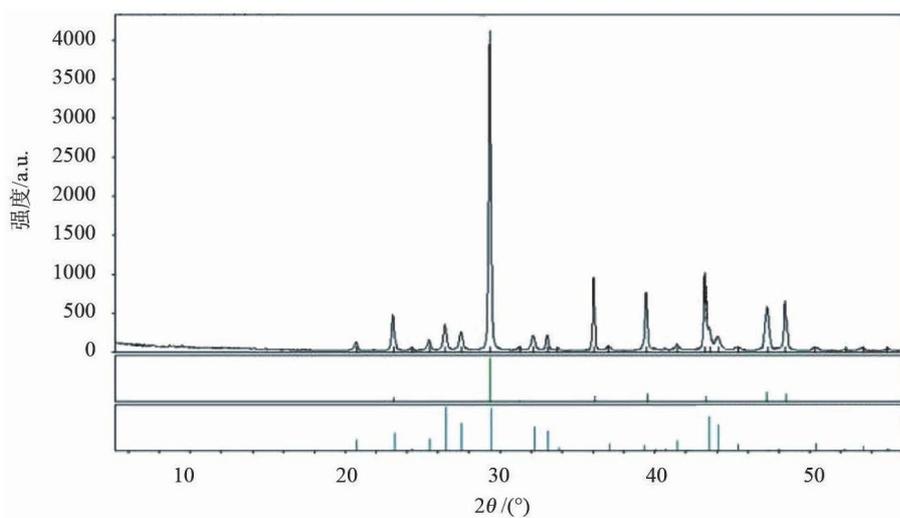


Figure 2. XRD analysis diagram of scales in Well J1  
图 2. J1 井垢 XRD 分析图

## 3. 新型钡锶阻垢剂研究

### 3.1. 新型钡锶阻垢剂的合成

#### 3.1.1. PE-1 主剂的合成

以马来酸酐、丙烯酸、丙烯酸羟丙酯及含磷单体为反应单体, 通过自由基聚合反应合成了磷酸基改性聚羧酸 PE-1 共聚物阻垢剂[7]。

### 3.1.2. 新型钡锶阻垢剂的复配

以 PE-1 为主剂, 加入有机磷酸阻垢剂、聚羧酸阻垢分散剂、缓蚀剂、分散剂等多种组分进行复配[8], 得到了 2 种针对池 46、池 228 区块的新型高效钡锶阻垢剂 DCZ1601、DCZ1603。该阻垢剂对水中硫酸盐、碳酸盐等难溶盐具有良好的抑制分散作用, 尤其适用做  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$  稳定剂。

## 3.2. 静态阻垢性能评价

### 3.2.1. PE-1 主剂的评价

由正交试验结果和极差分析可知, 当马来酸酐、丙烯酸、丙烯酸羟丙酯和含磷单体的摩尔比为 2:5:1:2、反应时间为 3 h、引发剂质量分数为 4.5% 时, 合成的 PE-1 多元共聚物对  $\text{BaSO}_4$  垢的阻垢率最高。参照 SY/T 5673-93 测定阻垢率, 配制  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  的质量浓度均为 300 mg/L 的水样。当 PE-1 质量浓度为 30 mg/L 和 pH 值为 7.5 时, 其对  $\text{BaSO}_4$  垢的平均阻垢率为 96.5%。

### 3.2.2. 新型高效钡锶阻垢剂的评价

来自不同油井的采出水离子质量浓度差别较大, 配制成垢离子  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  的质量浓度分别为 900、700、1200 mg/L, 总矿化度为 17358 mg/L 的水样。静态阻垢率见表 3, 可以看出 DCZ1603 在 200 mg/L 时阻垢率最大, 可达 95.8%。

Table 3. The evaluation of scale inhibition rate of compound scale inhibitors

表 3. 复配后阻垢剂的阻垢率评价

阻垢剂	不同质量浓度下的阻垢率/%		
	60 mg/L	100 mg/L	200 mg/L
DCZ1601	38.5	56.4	87.8
DCZ1603	76.8	93.2	95.8

## 3.3. 动态阻垢性能评价

配制 A、B 两组模拟采出水, A 组模拟采出水携带成垢阳离子( $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ ), B 组模拟采出水携带成垢阴离子( $\text{SO}_4^{2-}$ )。用泵将 2 组模拟采出水打入同一根管道, 同时用滴加的方式加入阻垢剂 DCZ1603。水浴加热 2 组采出水, 模拟现场流体温度; 检测 A 组模拟采出水及混合后液体中的  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$  的质量浓度, 确定阻垢剂的阻垢率。动态阻垢评价流程装置如图 3 所示。配制水样如表 4 所示。

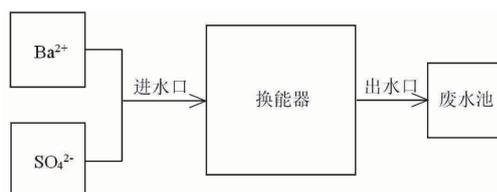


Figure 3. The process flow of dynamic scale inhibitor assessment

图 3. 动态阻垢评价流程图

Table 4. The dynamic evaluation of water sample composition and mass concentration of the scale inhibitor

表 4. 动态阻垢剂评价水样组成及质量浓度

A 组中主要阳离子及质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )		B 组中主要阴离子及质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )		总矿化度/(mg·L <sup>-1</sup> )
$\text{Ba}^{2+}$	$\text{Sr}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$		
200	1500	1000		70000

分别取 J1 井和动态阻垢评价装置中的垢样，用石油醚萃取出垢样中的油类，干燥后样品在研钵中研细，放入干燥的烘箱内，120℃干燥 2 h，对垢样进行能谱分析，结果见图 4。由图 4(a)发现 J1 井垢样中  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$  相对含量较高，图 4(b)中  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$  相对含量减少显著，说明 DCZ1603 具有良好的阻  $\text{BaSO}_4$  垢效果。

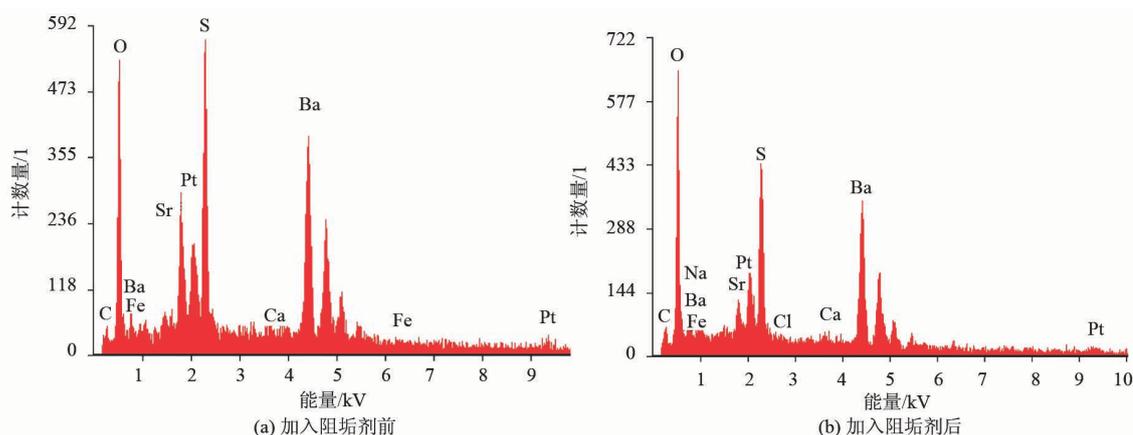


Figure 4. The energy spectra before and after adding scale inhibitor  
图 4. 加入阻垢剂前后的能谱

图 5 为加入阻垢剂前后的垢样电镜图，可以看出未加阻垢剂(见图 5(a))时，硫酸钡垢的晶型非常完整，加入阻垢剂(见图 5(b))后垢体晶型被破坏，说明阻垢剂的作用机理主要是晶格畸变作用，同时还有电荷分散作用和螯合增溶作用。

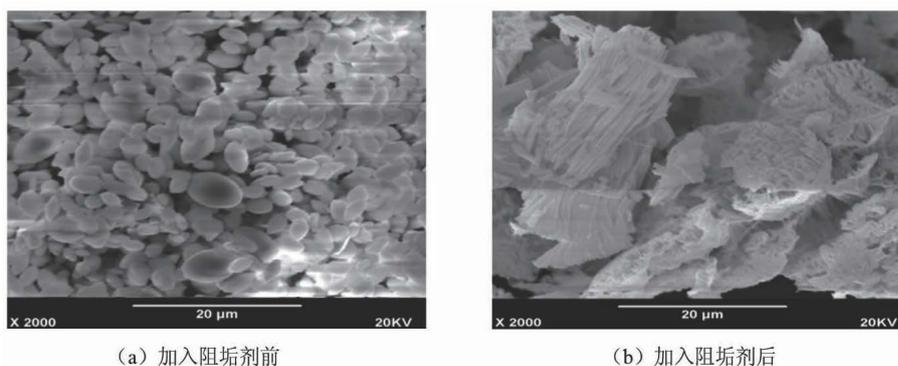


Figure 5. The diagram of electron microscopy scanning for scale samples before and after adding scale inhibitor  
图 5. 加入阻垢剂前后垢样电镜图

#### 4. 结论

- 1) 姬塬油田 C8 油层储层物性差、水中成垢阴阳离子含量高、不同类型水质不配伍以及水质不达标等均是引起姬塬 C8 油层结垢及地层堵塞的主要原因。
- 2) 合成了磷酸基改性聚羧酸 PE-1 主剂，与有机磷酸阻垢剂、聚羧酸阻垢分散剂、缓蚀剂、分散剂等多种组分进行复配，优选出新型高效钡锶阻垢剂 DCZ1603。
- 3) DCZ1603 钡锶阻垢剂在 200 mg/L 时硫酸钡阻垢率可达到 95.8%。DCZ1603 钡锶阻垢剂能够破坏垢体晶型，同时还有电荷分散作用和螯合增溶作用。

## 参考文献

- [1] 于洪江, 李德佳, 代吉建. 两性离子聚合物硅垢阻垢剂的合成及阻垢性能[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2019, 34(2): 93-98.
- [2] 李洪建, 王苗苗, 唐汉林, 等. 硫酸钡阻垢剂的制备及性能评价[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2019, 34(1): 89-94.
- [3] 王语林, 李常青, 谷丽芬, 等. 阻垢剂阻垢机理及性能评定方法研究进展[J]. 广东化工, 2018, 45(12): 192-193.
- [4] 王文波, 陈国力, 王雅珍. 聚合物类阻垢剂的最新研究进展[J]. 应用化工, 2018, 47(5): 1007-1010.
- [5] 高纪超. 硫酸钡阻垢剂新型快速室内评价方法[J]. 石化技术, 2017, 24(3): 41.
- [6] 吴兰艳, 梁还, 满玉, 等. 固体超强酸催化合成 PESA 及其阻垢性能研究[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(11): 113-117.
- [7] 李省吾. MA/SSS/SH16 三元聚合物硫酸钡(锶)阻垢剂 MSH 的合成及性能研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2015.
- [8] 贺茂才, 孙群峰, 田忠伟, 等. 一种新型油田用钡锶阻垢剂 TH-607B 的性能研究[J]. 现代化工, 2012, 32(11): 67-69 + 71.

[编辑] 帅群

**Hans** 汉斯

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)