

文章编号:1000-4092(2022)03-536-04

三元复合驱采出液中防垢剂浓度的检测方法与应用*

黄小会^{1,2},王庆国^{1,2},刘明君³,刘纪琼^{1,2},康 燕^{1,2}

(1. 大庆油田有限责任公司采油工程研究院,黑龙江 大庆 163453;2. 黑龙江省油气藏增产增注重点实验室,黑龙江 大庆 163453;
3. 大庆油田设计院有限公司,黑龙江 大庆 163453)

摘要:针对目前三元复合驱油井采出液防垢剂浓度的检测方法尚属空白,采用了电感耦合等离子体发射仪(ICP)测定法,分析了三元采出液中聚合物、表面活性剂、碱以及硅离子对防垢剂浓度测定的影响。研究表明,聚合物对防垢剂浓度检测影响最大,表面活性剂、碱和硅离子对防垢剂浓度检测影响较小,平均精度偏差最高仅为2.6%。为消除聚合物的影响,采用氧化降解预处理方式,使检测平均精度偏差由38.9%降为0.2%。使用ICP法对大庆油田某三元复合驱试验区块30口油井进行了防垢剂浓度检测现场试验,药剂方案符合率由检测前的80%提高到了96%,检泵周期从210 d提高到了270 d。

关键词:三元复合驱;油井;防垢剂浓度检测;P含量;ICP;预处理技术

文献标识码:A DOI:10.19346/j.cnki.1000-4092.2022.03.026

中图分类号:TE357.46

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 前言

为解决ASP三元复合驱油井的结垢问题,目前普遍采用添加防垢剂的方法来延缓或避免垢的形成^[1-3]。采出液中防垢剂浓度的准确测定,是现场加药效果评价的前提,是具体加药量、加药时机、加药方式选取的关键,对保证ASP三元复合驱采出井防垢效果起着至关重要作用,但相应防垢剂浓度的检测方法尚属空白,未见相关报道。

当前油田开采中普遍采用的防垢剂为含磷类防垢剂,可通过磷元素的检测来确定防垢剂浓度。常用的检测磷元素浓度的方法有络合-返滴定法、磷钼蓝分光光度法^[4-6]、分子荧光检测法^[7],其中,络合-返滴定法的检测步骤繁琐,且对采出液颜色要求

较高,滴定终点不易判断;采用磷钼蓝分光光度法检测时,由于ASP三元复合驱采出液里含有的Si离子在测定过程中也生成蓝色络合物硅钼蓝而影响测定结果;采用分子荧光检测法检测时,由于ASP三元驱采出液中含有的表面活性剂荧光活性强,对测定有很大干扰。为此,急切需要寻求一种更快速、准确的测试方法,以满足ASP三元复合驱采出液防垢剂浓度测定的要求。本文采用电感耦合等离子体发射仪(ICP)法^[8]检测ASP三元复合驱采出液防垢剂浓度,分析了ASP三元复合驱采出液中聚合物、表面活性剂、碱以及硅离子对防垢剂浓度检测的影响,针对影响较大的组分,采取预处理技术将影响程度降到最低,实现对防垢剂浓度的准确测定。

* 收稿日期:2021-11-11;修回日期:2021-12-25。

基金项目:国家科技重大专项“二类油层化学驱油技术研究与规模应用”(项目编号2016E-0206)。

作者简介:黄小会(1986—),女,工程师,成都理工大学油气田开发工程硕士(2011),从事三元复合驱增产增注及清防垢方面的研究,通讯地址:163453 黑龙江省大庆市让胡路区西宾路9号采油工程研究院油田化学研究室,0459-5975604, E-mail: huangxhc@petrochina.com.cn。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

双氧水、次氯酸钠,分析纯,沈阳市新西试剂厂;硅酸钠、氢氧化钠,分析纯,沈阳华东试剂厂;聚合物 HPAM,相对分子质量 1.9×10^7 ,水解度 26.5%,大庆炼化公司聚合物厂;石油磺酸盐表面活性剂,大庆油田化工有限公司东昊分公司表活剂厂;有机磷类防垢剂 ZH-01,大庆油田开普化工有限公司。

Agilent 5110 型电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP),安捷伦科技(中国)有限公司。

1.2 实验方法

(1) 标准曲线的建立

以蒸馏水和过滤后的 ASP 三元复合驱采出液为基准溶液,配制防垢剂浓度分别为 25、50、100、150 和 200 mg/L 的系列标准溶液,采用 ICP 在波长为 213.618 nm 下测定不同质量浓度的防垢剂溶液的强度,建立防垢剂浓度标准工作曲线。

(2) 采出液不同组分对防垢剂浓度测定的影响

参考 ASP 三元复合驱现场采出液中的不同组分浓度,在质量浓度为 50 mg/L 的防垢剂溶液中加入不同浓度聚合物、表面活性剂、碱以及硅酸钠,采用 ICP 在波长为 213.618 nm 下测定防垢剂溶液的强度,由标准工作曲线读取防垢剂浓度,分析各组分对防垢剂浓度测定结果的影响。

(3) 采出液预处理及其对防垢剂浓度测定的影响

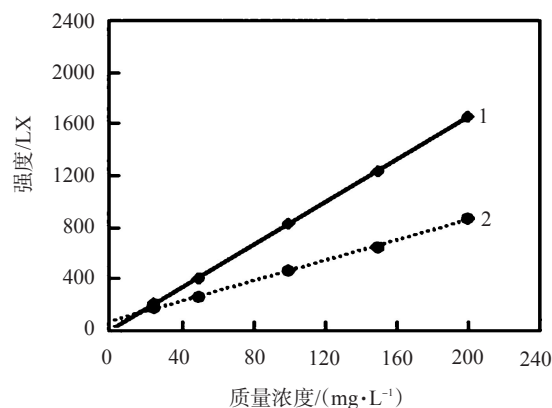
向 50 mL 的使用 ASP 三元复合驱采出液配制的质量浓度为 50 mg/L 防垢剂溶液中加入 1 mL (2%) 降解剂双氧水或 NaClO,搅拌均匀放置 24 h 后,使用 ICP 测试防垢剂浓度。

2 结果与讨论

2.1 标准工作曲线的确定

图 1 给出了蒸馏水、过滤后的 ASP 三元复合驱采出液配制的防垢剂溶液标准工作曲线。从图 1 可知,配液用水为蒸馏水时,防垢剂浓度与强度有非常好的线性关系,而配液用水为过滤后的 ASP 三元复合驱采出液时,防垢剂浓度与强度线性关系一般,且相比蒸馏水体系,相同防垢剂浓度下的强度整体偏低,随着防垢剂浓度的升高,偏差逐渐变

大。分析原因可能是与蒸馏水体系相比,ASP 三元复合驱采出液体系中含有聚合物、表面活性剂、碱和硅离子。这些组分导致 ASP 三元复合驱采出液体系防垢剂浓度产生偏差,故此后的防垢剂浓度检测均以蒸馏水体系为基准建立防垢剂浓度标准工作曲线。



配液用水:1—蒸馏水;2—过滤后的三元采出液。

图 1 不同体系下防垢剂标准工作曲线

2.2 采出液不同组分对防垢剂浓度测定的影响

2.2.1 表面活性剂对防垢剂浓度测定的影响

在 50 mg/L 的防垢剂溶液中加入一定量的表面活性剂后测试防垢剂浓度,结果见表 1。加入不同质量浓度的表面活性剂后,与配制的防垢剂浓度相比,ICP 测试防垢剂浓度平均精度偏差为 1.2%,由此可见,表面活性剂含量对防垢剂浓度的测定影响较小。

表 1 表面活性剂含量对 ICP 测定防垢剂浓度的影响

表面活性剂含量/ (mg·L ⁻¹)	ICP 测试防垢剂浓度/ (mg·L ⁻¹)	测量值与实际值 偏差/%
50	48.75	-2.5
100	49.26	-1.5
150	48.72	-2.6
200	50.96	1.9

2.2.2 聚合物对防垢剂浓度测定的影响

在 50 mg/L 的防垢剂溶液中加入一定量的聚合物后测试防垢剂浓度,结果见表 2。由表 2 可知,加入聚合物后,与配制的防垢剂浓度相比,ICP 测试防垢剂浓度结果整体偏小,平均精度偏差为 -38.9%,因此聚合物含量对防垢剂浓度的测定有较大影响。分析原因是:在 ICP 测试过程中,由于进样液体

表2 聚合物含量对ICP防垢剂浓度测定的影响

聚合物质量浓度/(mg·L ⁻¹)	ICP测试防垢剂质量浓度/(mg·L ⁻¹)	测量值与实际值偏差/%
50	37.49	-25.0
100	30.06	-39.9
150	28.31	-43.4
200	26.32	-47.4

中含有聚合物,溶液黏度变大,ICP仪器的进样量变小,其雾化效率变低,进而导致最终测试结果值偏小。

2.2.3 碱对防垢剂浓度测定的影响

在50 mg/L的防垢剂溶液中加入一定量的碱(NaOH)后测试防垢剂浓度,结果见表3。由表3可知,加入不同浓度的碱后,与配制的防垢剂浓度相比,ICP测试防垢剂浓度的平均精度偏差为1.2%,故碱含量对防垢剂浓度的测定影响较小。

表3 碱含量对ICP防垢剂浓度测定的影响

碱质量分数/%	ICP测试防垢剂质量浓度/(mg·L ⁻¹)	测量值与实际值偏差/%
0	49.20	-1.6
0.4	51.89	3.8
0.8	48.55	-2.9
1.2	47.98	-4.0

2.2.4 硅离子对防垢剂浓度测定的影响

在50 mg/L的防垢剂溶液中加入一定量的硅酸钠后测试防垢剂浓度,结果见表4。由表4可知,加入不同量硅酸钠后,与配制的防垢剂浓度相比,ICP测试防垢剂浓度的平均精度偏差为2.6%,故硅离子含量对防垢剂浓度的测定影响较小。

表4 硅含量对ICP防垢剂浓度测定的影响

硅离子质量浓度/(mg·L ⁻¹)	ICP测试防垢剂质量浓度/(mg·L ⁻¹)	测量值与实际值偏差/%
25	50.46	0.9
50	51.26	2.5
75	51.55	3.1
100	51.85	3.7

综合上述实验结果发现,ASP三元复合驱采出液中聚合物对防垢剂浓度测定有较大影响。为了消除三元采出液中聚合物的影响,需对ASP三元复

合驱采出液进行除过滤外的预处理。

2.3 ASP三元复合驱采出液预处理

分别向50 mL的使用ASP三元复合驱采出液配制的质量浓度为50 mg/L的防垢剂溶液中加入2%双氧水或NaClO,搅拌均匀放置24 h后,使用ICP测试防垢剂浓度,结果见表5。

表5 加入降解剂对防垢剂浓度测试结果的影响

降解剂	ICP测试防垢剂质量浓度/(mg·L ⁻¹)	测量值与实际值偏差/%
双氧水	76.57	53.1
NaClO	49.77	0.5

加入双氧水处理后,采用ASP三元复合驱采出液配制的防垢剂溶液浓度ICP测试值与实际值偏差高53.1%。通过查阅大量文献资料发现,在制备双氧水时,大多使用了磷酸三辛酯为溶剂,使得双氧水中含有浓度较高的磷元素^[9-10],从而导致加入双氧水中的三元采出液防垢剂浓度偏高。而加入NaClO处理后,采用ASP三元复合驱采出液配制的防垢剂大溶液浓度ICP测试值与实际值偏差仅0.5%。

配制一系列采用ASP三元复合驱采出液配制的不同浓度的防垢剂溶液,然后加入2% NaClO处理,搅拌均匀放置24 h后,使用ICP测试防垢剂浓度,结果见表6。与配制的浓度相比,ICP测试的平均精度偏差仅为0.2%,故采用添加NaClO的方法可消除聚合物对ICP测定结果的影响。

表6 加入NaClO对防垢剂溶液浓度测试结果的影响

配制防垢剂质量浓度/(mg·L ⁻¹)	ICP测试防垢剂质量浓度/(mg·L ⁻¹)	测量值与实际值偏差/%
25	24.86	-0.6
50	49.77	-0.5
100	98.35	-1.7
150	152.30	1.5
200	204.26	2.1

2.4 现场防垢剂浓度检测应用情况

大庆油田某三元复合驱试验区块有30口结垢严重井开展加药试验,在采用ICP检测采出液防垢剂浓度前,有6井与加药设计方案不符,加药符合率仅为80%,检泵周期为210 d;在使用ICP检测采出液防垢剂浓度后,通过加药工艺参数调整,有1口井

与加药设计方案不符,加药符合率提高到 96%,而检泵周期提高到 270 d。以其中一口结垢严重井 A 为例,现场采用 ICP 检测方法对该井的冲击加药全过程采出液防垢剂浓度进行了实时跟踪监测,测试结果见图 2。从测试结果来看,当采出液中防垢剂浓度达到所设计浓度(质量分数为 1%)时,采出液中钙镁离子被络合增溶加大,ICP 防垢剂测定浓度值与采出液中钙镁浓度变化呈现较好的一致性。

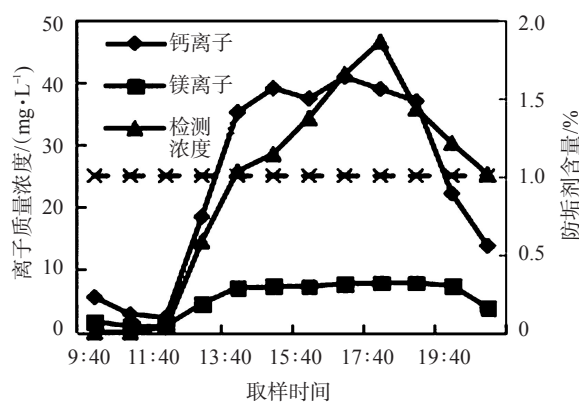


图 2 井 A 防垢剂浓度实时跟踪监测结果

3 结论

使用 ICP 法可以检测防垢剂浓度,ASP 三元复合驱采出液中的聚合物对防垢剂浓度检测影响最大,平均精度偏差高达 38.9%,表面活性剂、碱和硅离子对防垢剂浓度检测影响较小,平均精度偏差最高仅为 2.6%。

Detection Method and Application of Scale Inhibitor Concentration in ASP Produced Fluid

HUANG Xiaohui^{1,2}, WANG Qingguo^{1,2}, LIU Mingjun³, LIU Jiqiong^{1,2}, KANG Yan^{1,2}

(1. Oilfield Production Technology Institute, Daqing Oilfield Company, Ltd, Daqing, Heilongjiang 163453, P R of China; 2. Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Stimulation, Daqing, Heilongjiang 163453, P R of China; 3. Daqing Oilfield Design Institute Company, Ltd, Daqing, Heilongjiang 163453, P R of China)

Abstract: The detection method of scale inhibitor concentration in the produced fluid of ASP flooding oil well is still blank. In the paper, the determination method of inductively coupled plasma emission (ICP) was studied, and the effects of polymer, surfactant, alkali and silicon ions in ASP produced fluid on the determination of scale inhibitor concentration were analyzed. The results showed that polymer had the greatest influence on the concentration detection of scale inhibitor, surfactant, alkali and silicon ions had little influence on the concentration detection of scale inhibitor, and the highest average accuracy deviation was only 2.6%. In order to eliminate the influence of polymer, oxidative degradation pretreatment was used, as a result, the average accuracy deviation was reduced from 38.9% to 0.2%. The field test of scale inhibitor concentration detection was carried out in 30 oil wells in a ASP flooding test block of Daqing oilfield by ICP method. The coincidence rate of reagent scheme was increased from 80% before detection to 96%, and the pump-testing period was increased from 210 days to 270 days.

Keywords: ASP flooding; oil wells; scale inhibitor concentration detection; P content; ICP; pretreatment technology

向采用 ASP 三元复合驱出液配制的防垢剂溶液中加入 NaClO 可消除三元采出液中聚合物的影响,防垢剂浓度测试平均精度偏差降为 0.2%。

使用 ICP 法对大庆油田某三元复合驱试验区块 30 口三元油井进行了防垢剂浓度检测现场试验,药剂方案符合率由检测前的 80% 提高到了 96%,检泵周期从 210 d 提高到了 270 d。

参考文献:

- [1] 李颖雪, 兰天庆. 三元复合驱技术的研究进展[J]. 当代化工, 2021, 50(2): 487-491.
- [2] 王庆国. 大庆油田三元复合驱油井清防垢技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
- [3] 孙昊. 新型阻垢剂的合成与性能研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2016.
- [4] 李云. 钼酸铵分光光度法测定总磷的有关问题探讨[J]. 仪器仪表与分析检测, 2006(4): 40-46.
- [5] 陆芳启. 钼酸铵分光光度法检测工业磷酸含量的建立及初步应用[D]. 南宁: 广西大学, 2014.
- [6] 张卿成, 黄国强. 分光光度法对三氯氢硅中磷含量的检测[J]. 化学工程, 2017, 45(1): 66-69.
- [7] 赵亚鹏. 荧光法检测有机磷残留总量及其分析应用[D]. 河南师范大学, 2010.
- [8] 王雪, 杜晶, 杨旭东. ICP-AES 法测定铁矿石中硅铝钛磷锰等元素与传统分析方法的优点[J]. 中国新技术新产品, 2018(4): 115.
- [9] 贾玮玮. 解析双氧水生产工艺[J]. 中国化工贸易, 2020, 16(6): 71-73.
- [10] 郑小华. 一种双氧水生产工艺废水预处理除磷及有机物装置的研究[J]. 石化技术, 2019, 26(5): 76-77.