文章编号:1000-4092(2019)04-724-04

三元复合驱螺杆泵井中性清垢剂的研究与应用*

管公帅,王庆国,刘向斌,王 鑫

(中国石油大庆油田有限责任公司采油工程研究院,黑龙江 大庆 163453)

摘要:为解决大庆油田三元复合驱螺杆泵井常规酸洗清垢后转子涂层脱落、泵漏失作业的问题,制备了由有机磷酸酯、分散剂、pH值调节剂等组成的中性清垢剂体系,研究了该中性清垢剂体系对转子涂层的腐蚀情况及对三元复合驱现场垢样的清垢效果,并在大庆油田进行了现场试验。结果表明,中性清垢剂可使坚硬、致密的垢块变为疏松、分散的粉末,现场应用时利用螺杆泵防砂举升原理,携带松散垢粒至地面,清垢过程无H^+参与,螺杆泵转子镀铬涂层不会脱落。统计17口螺杆泵井中性清垢效果,措施后生产电流平均下降9.5 A,同时所有井均正常生产,无漏失情况发生,该中性清垢剂对三元复合驱结垢的螺杆泵井具有较好的清垢效果。图7表2参9

关键词:三元复合驱;螺杆泵井;清垢剂

中图分类号:TE358$^+$.5:TE357.46 **文献标识码**:A **DOI**:10.19346/j.cnki.1000-4092.2019.04.029

碱-表面活性剂-聚合物三元复合驱(以下简称三元复合驱)的油井结垢严重,这些垢质会附着在井下泵筒、转子、抽油杆等部位,造成机采井频繁出现卡泵、断杆等问题[1-7],严重影响生产时率,并且增加了生产成本[8]。目前针对三元复合驱结垢的油井采取的酸洗除垢措施[9],对油井具有较好的清垢效果,但清垢剂组分以盐酸、氢氟酸及有机酸为主,药剂中的H^+与螺杆泵转子镀铬涂层会发生快速反应,造成螺杆泵转子镀铬涂层脱落,定子、转子之间空隙加大,导致酸洗清垢后螺杆泵井泵效下降,严重影响采出效率,甚至还会出现泵漏失作业的情况。因此,为确保三元复合驱螺杆泵井的正常生产,需有针对性的开展清垢技术研究。室内制备了由有机磷酸酯、分散剂、pH值调节剂等组成的不含H^+的中性清垢剂体系,研究了其对垢质的清垢效果及对井下设备的腐蚀情况,并在大庆油田三元复合驱螺杆泵井开展了现场清垢试验,用以解决常规酸性药剂腐蚀螺杆泵转子镀铬涂层的问题。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

有机磷酸酯,工业级,华丰商贸化工有限公司;分散剂JBX-1、JML-3,工业级,方圆化工有限公司;pH值调节剂(碳酸钠、氢氧化钠),工业级,华启化工有限公司;酸性清垢剂CYY-02,工业级,大庆油田采油研究院;标准N80钢片,尺寸50×25×2 (mm),精度±0.1 mm,上海精密仪器仪表有限公司;螺杆泵转子切片,大庆油田装备制造集团;大庆油田采油二厂南五区三元复合驱螺杆泵井垢样。

∑IGMA300型电子探针扫描电镜,德国卡尔蔡司股份公司;EQUINOX 1000型X-射线衍射仪,美国赛默飞世尔科技公司;Optima8300DV型电感耦合等离子体发射光谱仪,美国珀金埃尔默有限公司。

1.2 实验方法

(1)中性清垢剂配制

向塑料烧杯中加入一定量的自来水,在中速搅

* **收稿日期**:2018-12-26;**修回日期**:2019-05-10。

基金项目:国家科技重大专项"大庆长垣特高含水油田提高采收率示范工程"(项目编号2016ZX05054)。

作者简介:管公帅(1981–),男,高级工程师,中国地质大学地质学专业学士(2006),从事三元复合驱增产增注及清防垢方面的研究工作,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,电话:0459–5988659,E-mail:guangongshuai@petrochina.com.cn。

拌下分别加入有机磷酸酯、分散剂、pH值调节剂得到中性清垢剂溶液。

（2）清垢性能测定

称取3 g左右的三元复合驱现场垢样，按固液比1∶10加入石油醚，密封后在室温下放置24 h，将过滤出的垢样置于温度105℃的电热恒温干燥箱中恒温8 h，冷却后称重。将垢样放入带刻度的比色管中，按照固液比1∶10加入中性清垢剂溶液，密封后置于45℃水浴中浸泡，观察比色管中垢块溶胀分散后体积的变化情况。

（3）腐蚀性能测定

依据中国石油天然气行业标准SY/T 5405—1996《酸化用缓蚀剂性能试验方法及评价指标》，在45℃条件下测定N80钢片在清垢剂溶液中浸泡不同时间后的腐蚀速率；将螺杆泵转子切片放入烧杯中，加入清垢剂将其完全浸没、密封，在45℃水浴中浸泡24 h，用电感耦合等离子体发射光谱仪检测溶液中铬离子浓度的变化情况，并观察螺杆泵转子表面涂层的变化情况。

（4）扫描电镜分析

用电子探针扫描电镜分别对中性清垢剂浸泡前、浸泡24 h后的碳酸钙晶体进行扫描，观察浸泡前后碳酸钙晶体结构和形态。

（5）X-射线衍射分析

将中性清垢剂浸泡前、浸泡24 h后的碳酸钙晶体分别用X-射线衍射仪进行表征，将测得的吸收峰与标准矿物的特征峰进行比对，研究浸泡前后碳酸钙晶型的变化情况。

2　结果与讨论

2.1　中性清垢剂的清垢性能

三元复合驱油井现场垢样经4种不同的中性清垢剂浸泡后垢块溶胀分散倍数及状态见表1。由表1可见，中性清垢剂1#与垢块反应24 h后，垢块膨胀倍数最大，约12.5倍，且垢块均分散成细小颗粒，清垢效果较好。

在实验过程中观察发现，从井下采出设备上取的垢样初始状态为致密的硬块，利用中性清垢剂1#浸泡2 h后，垢样表层疏松、部分脱落；浸泡4 h后，硬块整体坍塌，表面脱落下更多的垢质；浸泡6 h后，硬块被完全软化，垢样全部处于分散状态，分散体积增至原来的5倍以上；浸泡8 h后，垢样分散倍数继续增加；浸泡24 h后，垢样分散体积为未浸泡时的10倍以上，变为疏松的粉末，具体见图1。由图1可以看出，浸泡时间越长，垢样的分散效果越好，浸泡时间超过8 h后分散倍数增幅变缓。

表1　垢块浸泡在不同中性清垢剂后体积及形态变化

中性清垢剂*	垢块体积膨胀倍数	垢块形态变化
1#	12.5	全部变为分散的颗粒
2#	10.8	全部变为分散的颗粒
3#	8.2	部分变为分散的颗粒
4#	7.7	部分变为分散的颗粒

*1#：68%水+25%有机磷酸酯+5%分散剂JBX-1+2%碳酸钠；
2#：68%水+25%有机磷酸酯+5%分散剂JBX-1+2%氢氧化钠；
3#：68%水+25%有机磷酸酯+5%分散剂JML-3+2%碳酸钠；
4#：68%水+25%有机磷酸酯+5%分散剂JML-3+2%氢氧化钠。

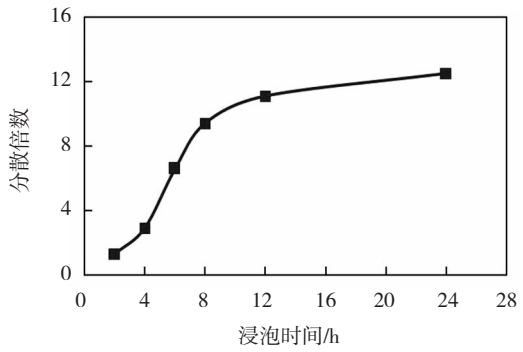

图1　中性清垢剂1#对垢样的分散倍数随浸泡时间变化曲线

为分析中性清垢剂1#的清垢机理，室内用中性清垢剂1#对垢样进行了浸泡，并对其浸泡前后的垢样分别进行扫描电镜观察和X-射线衍射分析，结果见图2、图3。从图2可以看出，未经浸泡垢样的结构紧凑、堆积致密，而浸泡后的垢样呈现为长方形的条状体，彼此之间空隙较大，堆积错落无序，为松散的粉末状固体。从图3可以看出，在未经浸泡的垢样的X-射线衍射谱图上，在2θ=29.62°处有明显的吸收峰，在2θ=39.46°、43.53°、47.6°以及48.8°处均有中等强度吸收，判断为方解石型的碳酸钙；经中性清垢剂浸泡后垢样的X-射线衍射谱图中2θ=29.62°、39.6°、47.6°及48.8°是方解石晶型碳酸钙的吸收峰，而2θ=26.02°、26.52°、31.53°以及46.01°等处对应的是文石晶型的碳酸钙。因此可推测，中性清垢剂1#的

清垢机理是通过诱导垢质中的碳酸盐结晶发生晶型转变，使其由堆积致密的方解石晶型转变为结构疏松的文石晶型，由坚硬致密的垢块变为分散、疏松的粉末，然后从井下设备表面脱落，达到清垢的目的。

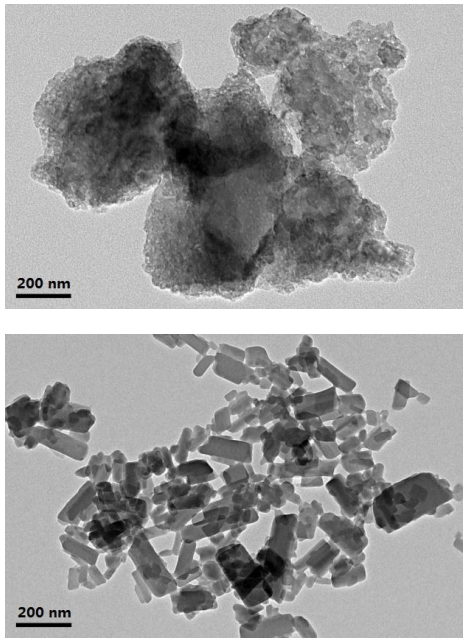

图2 浸泡前(上)、浸泡后(下)垢样的扫描电镜图像

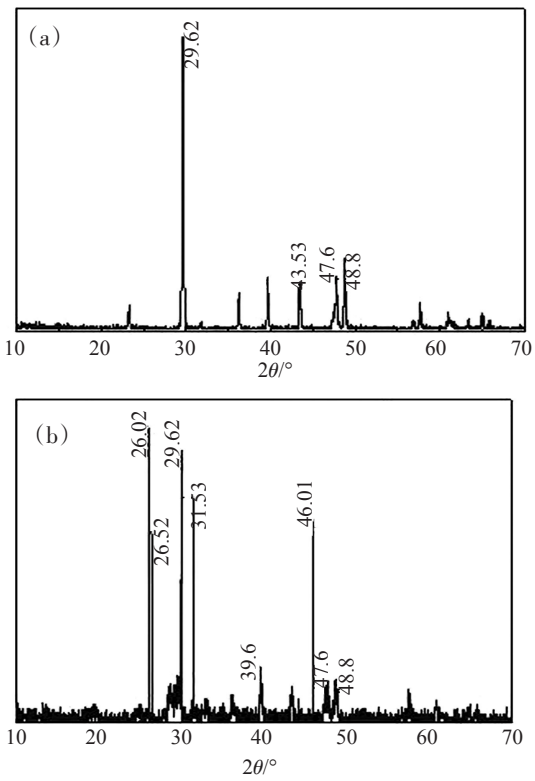

图3 浸泡前(a)、浸泡后(b)垢样的X-射线衍射谱图

2.2 中性清垢剂的腐蚀性

中性清垢剂1#及酸性清垢剂CYY-02(三元复合驱抽油机井用清垢剂)对N80钢片的腐蚀情况见表2。可以看出，随着浸泡时间的延长，平均腐蚀速率均先上升后逐步下降，浸泡4 h中性清垢剂1#及酸性清垢剂CYY-02的平均腐蚀速率最大，分别为0.46 g/m^2·h和0.58 g/m^2·h，对井下杆、管等设备的腐蚀达到要求。

表2 不同清垢剂对N80钢片腐蚀性能测定结果

腐蚀时间/h	平均腐蚀速率/(g·m^{-2}·h^{-1})	
	中性清垢剂1#	酸性清垢剂CYY-02
2	0.36	0.51
4	0.46	0.58
6	0.45	0.54
8	0.39	0.47
24	0.14	0.28

中性清垢剂1#及酸性清垢剂CYY-02对螺杆泵转子切片铬涂层的腐蚀情况见图4。从图4可以看出，酸性清垢剂CYY-02与螺杆泵转子镀铬涂层发生快速反应，浸泡液中铬离子浓度快速上升，24 h后达到74.69 mg/L，经酸性清垢剂CYY-02溶液浸泡后转子表面涂层完全脱落，转子变黑。由于中性清垢剂1#中不含H^+，对螺杆泵转子镀铬涂层几乎不腐蚀，24 h后浸泡液中铬离子浓度仅为6.92 mg/L，转子仍然光亮，表面涂层完好无损。由此可见，中性清垢剂1#能有效解决常规酸性药剂腐蚀螺杆泵转子镀铬涂层的问题。

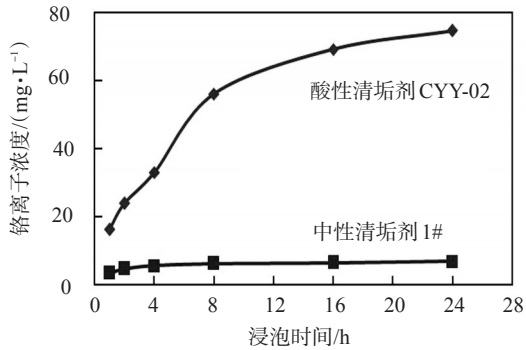

图4 不同清垢剂对螺杆泵转子涂层的腐蚀性能

2.3 中性清垢剂的现场应用效果

当采出井井下泵、杆、管等机采设备结垢时，由于摩擦力的增加，采出井的生产电流会根据结垢程

度相应地上升，结垢越严重电流上升幅度越大。针对正常生产过程中电流上升幅度较大的螺杆泵井现场采用了中性清垢剂进行处理，以大庆油田三元区块中的1口螺杆泵井为例（见图5），该井因垢沉积导致电流从39 A上升到49 A，2016年5月12日现场使用中性清垢剂进行处理，措施后油井电流降至37 A，日产液由38.1 m^3上升至67.4 m^3，油井正常生产，无漏失情况发生。统计17口螺杆泵井中性清垢效果，措施后生产电流平均下降9.5 A，措施后均无泵漏失情况，因此可见，中性清垢剂可满足螺杆泵井现场清垢需要。

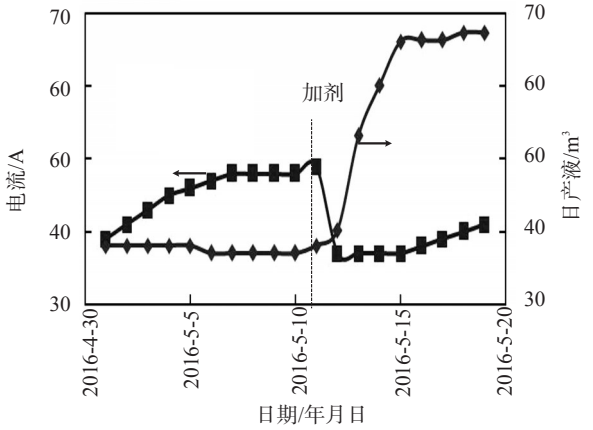

图5 螺杆泵井中性清垢前后生产数据曲线

3 结论

由有机磷酸酯、分散剂、pH值调节剂等组成的中性清垢剂，能够在不腐蚀螺杆泵转子镀铬涂层的情况下，使泵及杆管等部位的垢松软脱落，达到清垢的目的。现场应用17口井，措施后油井生产电流下降至结垢前水平，且均正常生产。该技术解决了螺杆泵井无有效清垢方法的难题，可大幅提升机采井生产时率，还可适用于其他驱替环境下结垢螺杆泵井的清垢，具有广阔的应用前景。

参考文献：

[1] 王玉普，程杰成. 三元复合驱过程中的结垢特点和机采方式适应性[J]. 大庆石油学院学报，2003，27(2)：20–22.

[2] 程杰成，王庆国，王俊，等. 强碱三元复合驱钙、硅垢沉积模型及结垢预测[J].石油学报，2016，37(5)：653–659.

[3] CHENG Jiecheng，ZHOU Wanfu，ZHANG Yusheng，et al. Scaling principle and scaling prediction in ASP flooding producers in Daqing oilfield[R]. SPE 144826-MS，2011.

[4] 马景义，胡胜杰，姚洪田.强碱三元复合驱采出井垢形貌及组分分析[J].采油工程，2013，3(2)：29–31.

[5] 周振东.强碱三元复合驱垢质成分变化及防垢剂配方调整[J].采油工程，2012，2(4)：16–21.

[6] 周万富，张士诚，王庆国，等.强碱三元复合驱长岩心模拟实验中成垢离子变化规律[J].大庆石油学院学报，2010，34(2)：77–80.

[7] 程杰成，王德民，李群，等. 大庆油田三元复合驱矿场试验动态特征[J].石油学报，2002，23(6)：37–40.

[8] 程杰成，吴军政，胡俊卿. 三元复合驱提高原油采收率关键理论与技术[J].石油学报，2014，35(2)：310–318.

[9] 王贤君，王庆国.三元复合驱矿藏采油井结垢及清垢剂的研究及应用[J].油田化学，2003，20(1)：1–3.

Research and Application of Neutral Scale Remover for Screw Pump Wells of Alkali-surfactant-polymer Flooding

GUAN Gongshuai，WANG Qingguo，LIU Xiangbin，WANG Xin

（*Research Institute of Oil Production Engineering，Daqing Oilfield Company，Ltd，PetroChina，Daqing，Heilongjiang 163453，P R of China*）

Abstract: In order to solve the problem of rotor coating loss and pump leakage operation after conventional acid cleaning of screw pump wells in alkali-surfactant-polymer（ASP） flooding of daqing oilfield，a neutral scale removing agent composed of organophosphate，dispersant and pH regulator was prepared. The removing effect for the field scale sample and corrosion condition for the rotor coating was studied in lab，the cleaning test was applied on the screw pump wells of Daqing oilfield. The results showed that the hard and compact scale could be changed into loose and dispersed powder，because of the good sand-carrying performance of screw pump，the removed scale particles could be lifted to the ground effectively. Since there was no hydrogen ions in the scale remover，the chrome coating of screw pump wells will not be destroyed. According to the statistical results of the scale cleaning of 17 screw pump wells，the average production current of the production wells after the measures decreased by 9.5 A. The scales on the surfaces of the stator，rotor and sucker rods of the screw pump wells were effectively removed，and all the wells resume normal production. Application showed that neutral scale remover was effective for descaling downhole equipment of screw pump wells.

Keywords: *alkali-surfactant-polymer flooding*；*screw pump well*；*scale removing agent*