

油田注水井管线结垢分析及阻垢剂研制与应用

杜黎明¹ 梁峰²

1 中国石化西北油田分公司采油一厂 新疆 乌鲁木齐 830011

2 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司地面工程与设备管理部 新疆 乌鲁木齐 830001

【摘要】在石油生产过程中,为了补上油田生产所引起的地下空坑,大多数油田都注入了水,以维持或增加油层的压力,以实现高而稳定的油田产量并提高采油率。进入注水开发阶段后,井管线结垢成为我国油田的普遍存在的问题。结垢对油田构成了严重威胁,降低了油田的渗透性,破坏了石油开采设施,阻塞了地面收集和运输系统,并增加了能源消耗。所以,油田注水井管线结垢是目前各大油田研究的主要课题。

【关键词】油田注水;井管线结垢;阻垢剂;研制与应用

前言

在油田的开采过程中,由于注入的水源的不合理性,这通常会存在不同层的水混柱。由于在热力学中水的不稳定和化学不相容性,造成井管线结垢,从而引起一系列问题如管道变窄、圆形交叉管堵塞和井管线局部腐蚀等,导致管道钻探和注水管道的频繁泄漏造成了巨大的灾难。陕西某地的采油厂因为该问题每月至少要更换5-7条注入井管线,通常每年需要花费数百万元人民币来支付注水管道的损坏和维修费用。在油田中使用的阻垢剂主要分为天然聚合物、羧酸聚合物、含磷聚合物和磺酸聚合物。但是,大多数阻垢剂仅适用于一种类型的垢。但是,它非常有效。目前关于碳酸钙、硫酸钙和硫酸钡阻垢剂的研究很少。因此,在研究对油井注水井管线进行更换和维护时,需要着重研究相应的高效复合型阻垢剂。

1 油田注水井管线结垢的原因分析

油田注水井管线结垢的主要原因有两个。首先,在进行注水环节时,注入水与地层水不相容。油田注入水通常有两个来源,其中之一是清水。即油田中的地下水或地表水。另外一种为污水。即为油层水。油井注水开采需要更多的水源。当前,污水的排放受到限制并且水源稀缺,因此大部分油田使用了污水回注以及清污混柱的方式。当注入水注入地层中时,它会与地层水混合并接触,因为其中包含不同形式的离子。由于热力学中水的不稳定性和化学不相容性,与水垢形成相互作用,在压力下变得不稳定的离子。其次,来自石油开采过程的地层水含有一定浓度的水垢离子。储层地下水的化学平衡随压力、温度、pH、水成分和其他因素的变化而变化,垢组成成分的溶解度下降,进而析出结晶沉淀。沉淀主要是碳酸钙、碳酸镁、钙/硫酸镁等,我国大多数油田结垢都由此而来^[1]。

2 油田注水管线的防垢措施

水的结垢问题是许多科学家和石油工程师重点关注的问题。为了提高油田的开采率和合理利用水资源,必须采取有效措施解决石油开采过程出现的结垢问题。防垢措施主要旨在找出出现垢的源头并解决该问题,并且需要从两个方面考虑防垢过程。首先,消除注水与地层

水以及不同层之间的不相容问题,这可以通过降低水中的碱度和水质来实现。处理后的结果是,水的pH降低(铁化合物和碳酸水垢的溶解度增加)以及矿化度降低。但是,此步骤需要大量的资金和使用复杂的技术,但这明显不符合实际情况。其次,在三个主要方面进行防垢过程:

(1) 抑制晶体成核或防止晶体变大。(2) 通过分离晶体核心并控制成垢离子;(3) 防止沉淀积累,维持固体颗粒在水中的扩散,并防止金属表面发生沉淀积累。当前,最常用的防垢方法包含物理防垢以及化学防垢。物理防垢主要是通过扩散、电解、磁场、辐射等作用来减少或防止晶体的形成和生长,维持固体颗粒在水中的扩散,并防止金属表面发生沉淀积累。近来,在油田中逐渐建立了抵抗石灰结垢处理系统,该系统为物理防垢器。典型的物理除垢设备一般包括Enmax技术、冷却剂和容积回路技术。WaterHacker物理水垢保护装置可以使用主动攻击和其他传播方法的顺序控制的多向组合来生成连续的高频变频方波,从而可以有效防止水垢的形成和以往产生的水垢的消除。这不取决于水的流速,同时还带有除菌、细化水分子的性能。WaterHacker物理防垢装置具有易于安装且无需更换管道的明显优势,相对来说并没有什么风险。化学防垢技术是一种相对先进的技术,可防止水垢的形成,降低其溶解度(阳离子以增加水垢的溶解度)。化学防垢还具有扩散作用、静电斥力作用、晶体畸变作用、去活化作用以减少或抑制垢晶体的形成和长大,维持垢晶体在水中扩散,防止在金属表面的沉积积累。化学除垢方法成本较低,因此是添加阻垢剂以避免形成垢的一种经济可行的方法。防垢剂与注入水一同注入地层水中,与成垢离子结合以稳定该离子,形成具有长久功效的防水垢作用。

不同的油区具有不同的情况,结垢的类型和垢成分以及处理方法都是不同的。国内外的许多油田成垢处理和防垢控制研究表明,已经对不同油区的具体情况以及防垢原理和结垢情况进行了系统的研究,以减少或消除结垢对油田开采的影响^[2]。

3 油田注水井管线阻垢剂研制

3.1 研制方案

关于油井结垢问题,研究小组提出了三种解决油井结垢问题的方法。(1)管道和设备表面刷疏水涂层。(2)

设置防垢装置，将超声波防垢装置安装在轻型防垢组件上。(3)采用化学防垢的方法，即添加阻垢剂。将阻垢剂用于井下以防止油田结垢。经过项目团队的反复论证，化学除垢方法具有成本低，副作用的明显优点。

3.1.1 总体思路

为了克服由油井和工作区下面的波浪引起开采异常的问题，在该项目中利用了淀粉接枝共聚的技术，研发出适应该区域的除垢剂以解决该问题。该方法可分解空气和水。在使用化学技术时，开发出一套完整的有效油田维护方法，这些方法可以有效解决油田开采的问题，并且不会造成油田长期结垢。

3.1.2 技术方案

由于与普通酸性物质相关的技术难题，该物质的分子结构已被破坏，而这些酸性物质在高温下易分解，从而使用效果较差。最初提出了通过将丙烯酸和2-丙烯酸胺-肌动蛋白的酸性分子基团接枝到淀粉的分子链中的复制方法来合成耐高温的中性阻垢剂。阻垢剂耐温度上限为160℃，阻断率高达85%以上。其中要考虑例如温度和产油之间的流体流量差异以及从地面的絮凝转移等条件的变化，形成一定的操作规范，提高药剂的利用率并解决了油井结垢的问题。

(1) 淀粉基耐高温阻垢剂的研发

sT-3 抑制剂是由淀粉、丙烯酸钠和乙酸2-丙烯酸胺的充分共聚形成的。由于分子结构由羧酸和羧酸盐组成，对水垢的形成和扩散具有出色的抑制作用，并且耐钙性可以大大提高水中对石灰、镁和锌的抑制垢作用，并且具有优异的分散功能。淀粉基因的加入还显著改善了ST-3阻垢剂的热稳定性，即使在160℃的高温下，阻垢率仍然高于85%，同时获得良好的阻垢效果。并且该阻垢剂为中性对金属材料的腐蚀率较低。sT-3阻垢剂是一种不溶性聚合物的水溶液，不会造成测井仪和管道腐蚀，并且在160℃的高温下，阻垢率仍超过85%，垢效果明显超越斯伦贝谢产品。

(2) 井口加药方案设计

从阻垢剂作用机制可知，阻垢剂必须在与油水混合的液体中以一定浓度存在，以防止形成垢结晶或垢块。阻垢剂的防垢作用与剂量的多少并无太大关系。剂量取决于所得液体中Ca²⁺和Mg²⁺离子的浓度、溶液温度、压力和其他因素。如果量不足，则不能完全控制固化材料的微晶核的形成。然而，如果剂量超过最佳剂量，则防垢作用不会显著改善并且还会减弱。选择正确的加药技术不仅可以达到最佳的阻垢效果，还可以降低加药的成本。因此，设计处井口加药方案十分关键。

3.2 制定对策与实施

3.2.1 室内实验

(1) 垢样分析数据：垢样分析数据见表1。

表1 油井垢样实验数据

	钙垢 (%)	镁垢 (%)	铁 (%)	油水 (%)	杂质 (%)
双北 28-39 (大块)	67.94	15.1	16.28	0.68	0
双北 28-39 (上面沙)	38.25	49.72	11.43	0.6	0
曙 2-011-4 井	28.89	15.8	44.88	1.41	9.02
5 号站	36.16	35.73	2.445	4.76	20.92

(2) 阻垢实验数据：第一，曙 2-011-4 水样阻垢实验数据，见表 2；

表 2 曙 2-011-4 水样阻垢实验数据

加药量	100	300	500	1000
阻垢率 (%)	32.56	67.42	92.23	94.12

第二，双北 28-39 水样阻垢实验数据，见表 3。

表 3 双北 28-39 水样阻垢实验数据

加药量	100	300	500	1000
阻垢率 (%)	46.29	70.32	94.56	95.46

3.2.2 现场试验

根据对这三个作业的所有检查结果来看，油井的结垢情况已经十分严重，影响了正常的石油开采。原始的油田开采方法已经不能保证油田的正常开采。在此情况下，对该井采取了添加阻垢剂的方法。在2013年5月4日正式开始使用除垢技术现场测试。具体工作步骤是(1)分析水样，并找寻出合适的阻垢剂药剂。(2)添加药物后，检查井水样品，并检查阻垢效果。(3)井口安装加药的设备。(4)通过结合水性样品来制定每日加药剂量。(5)根据项目要求，调整井药剂添加剂量，并根据需要逐步调整剂量。

自2019年5月4日添加阻垢剂开始算，该井已经连续开采367天，直到2020年10月结束。从最初的29天测试期相比，超过了338天。并延长了油井检泵周期。可以看出，该方法有效地解决了油井结垢问题^[3]。

4 油田注水井管线阻垢剂的应用

研究后效应分析：2020年10月23日双井28-39通过有效酸化的防垢措施，研究了井中结垢状况。从检查结果来看，油管外壁有结垢现象，但筛管外部无结垢现象。从这可以看出，阻垢剂具有明显的防垢效果，并可防止井中钙和镁离子沉淀析出结晶，对油井造成堵卡的现象。可以看出，使用防垢技术可以解决油井中垢卡的问题，延长了油井检泵的检查周期。到2020年，这一年完成了9口井。与有效果的5口井相比，根据统计倒井的次数减少了19井次。每次的井作业成本为人民币45000元，已减少作业费用为855000元。阻垢剂量总共为5448吨，平均每吨是10400元。药剂的总成本为5.67万元，节省作业成本为79.83万元^[4]。

5 结语

由于油井结垢，造成卡泵现象，使得无法正常开采油井，油井结垢筛管也因为结垢堵塞，造成油井生产量下降，油井检泵周期缩短，油井作业成本增加，并导致进站管线结垢，使得井液无法正常进站。

【参考文献】

- [1] 路建萍, 沈燕宾, 王佳, 李俊华, 谢元, 周渝. 油田注水井管线结垢分析及阻垢剂研制与应用[J]. 应用化工, 2020, 49(10): 2555-2559+2580.
- [2] 任屹, 张昊天, 郑立朝, 张存广, 陈伟, 杨佳. 南堡油田1-5区注水井结垢规律试验研究[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2019, 16(09): 63-66+93+7-8.
- [3] 赵静. G油田高温高压注水井结垢评价及防垢研究[D]. 西南石油大学, 2019.
- [4] 王苗苗. JD油田注水井井筒结垢机理及防垢措施研究[D]. 西南石油大学, 2019.