

◀ 试井与开采 ▶

胜利油田注水管柱腐蚀机理与防治技术

李荣强

(中国石化胜利油田分公司 采油工程处, 山东 东营 257001)

摘要:针对油田注水开发过程中井下油管和配套工具普遍存在的腐蚀现象以及所带来的问题,在对胜利油田近年来注水管柱腐蚀状况进行统计分析的基础上,认为注水管柱的腐蚀机理主要是溶解气腐蚀和垢下腐蚀。结合胜利油田在延长注水管柱工作寿命方面所采取的一系列防腐措施,对各种防腐管柱的防腐效果进行了分析。分析结果表明,镍磷镀油管的防腐效果较好且经济,因而注水开发油井推荐采用镍磷镀油管,并建议注水工具全部进行镍磷镀防腐处理。指出注水管柱防腐技术的下一步发展方向是玻璃钢防腐技术和玻璃钢内衬防腐技术。

关键词:注水管柱; 腐蚀; 防腐; 胜利油田

中图分类号: TE358⁺.9 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2008)04-0064-03

目前,胜利油田分公司有62个油田投入注水开发,共有注水井7 616口,其中分层注水井3 014口,占注水井总数的39.6%。由于大部分油田已进入开发后期,地层出砂越来越严重,层间差异越来越大;大部分油田长期回注不合格污水,导致地层污染严重,井况不断变差;注水井上普遍存在油管、套管腐蚀现象,油管腐蚀、结垢率达100%,报废率超过80%,给分层注水工艺带来了极大困难,造成了巨大的经济损失。因此,对注水管柱腐蚀现状进行分析,研究其腐蚀机理,评价其防腐方法和防腐效果,对指导油田高效注水开发具有重要的意义。

1 注水管柱腐蚀现状分析

在统计调查的10个区块550口注水井中,除少部分工具采用镀铬和镍磷镀处理外,绝大部分只采取了发黑处理,整个管柱及配套工具的防腐效果差,腐蚀严重。如3-5-X690井,井下封隔器钢体的局部腐蚀深度达3 mm,配水器的局部腐蚀深度达2 mm,并出现了孔径约10 mm的穿孔,部分油管也出现了穿孔现象。

根据1999—2002年胜利油田水井换管作业的统计,管柱的腐蚀率高达100%。对53口注水井油管腐蚀结垢情况的跟踪调查发现:使用氮化防腐油管的6口注水井中,有2口井结垢严重;使用普通油管的47口注水井中,有5口井的油管因腐蚀而穿孔,6口井的油管丝扣腐蚀严重,其他均有不同程度的腐蚀现象,均不能重复使用。53口井中管柱最长

入井时间达64个月,最短入井时间只有1个月。

此外,管柱在井内工作时间长,注入水质不合格造成管柱结垢,导致油管内径缩小、配水器芯子或堵塞器被垢堵死等问题,造成注水井测试和调配困难。如正理庄油田正南区块的8口分层注水井中,测试成功的只有4口井。

由此可见,注水过程中的管柱腐蚀和结垢严重影响了注水管柱的正常工作,缩短了管柱工作寿命。油管和井下工具的防腐防垢性能是制约注水井有效工作的主要因素。

2 管柱腐蚀机理

造成井下管柱腐蚀的机理主要有:电化学腐蚀、微生物腐蚀、溶解气腐蚀、垢下腐蚀、温度腐蚀以及上述5种机理的综合腐蚀等^[1-10]。胜利油田井下管柱的主要腐蚀机理是溶解气腐蚀和垢下腐蚀。

2.1 溶解气腐蚀

O₂、CO₂和H₂S溶解在水中会大大加快管柱的腐蚀速度,这是因为溶解氧不仅能起去极化剂的作用,而且在pH值大于4时能将亚铁离子氧化成铁离子,加快反应速度。溶解CO₂和H₂S的水显弱酸

收稿日期:2007-06-08; 改回日期:2008-06-21

作者简介:李荣强(1973—),男,山东沾化人,1997年毕业于石油大学(华东)采油工程专业,工程师,主要从事油田注水方面的技术与管理工作。

联系电话:(0546)8775005

性, 氢离子作为去极化剂, 易于引起腐蚀^[11]。而 H₂S 主要是 SRB 腐蚀的副产物, H₂S 腐蚀过程中, 阴极上的某些氢离子会进入钢铁内部, 从而导致低强度钢的氢腐蚀和高强度钢的氢脆。对东辛采油厂一矿 4 条污水回注流程的水质化验分析结果表明, 水中 CO₂ 含量偏高, 且 pH 值较低, 这是造成油管腐蚀的主要原因, 且回注污水的矿化度相对较高(45 000~47 000 mg/L), 对腐蚀产生促进作用。

2.2 垢下腐蚀

注水过程中, 注水井管柱中会生成大量的水垢。如果水中存在较多的 Cl⁻, 则在垢的下面会形成一个贫氧区, 而且垢下溶液往往是 FeCl₂ 的饱和溶液, 因而会在点蚀孔的周围表面产生阴极反应, 使小孔周围受阴极保护。pH 值越高, 点蚀越深, 阴极保护区也越宽。pH 值的升高使小孔上部的沉淀越来越多, 沉淀物进一步堵塞小孔通道, 使 FeCl₂ 聚集其中, 与氧气隔绝, 进一步加速腐蚀。对东辛采油厂一矿 4 条污水回注流程的水质化验分析结果表明, Ca²⁺、Mg²⁺、Sr²⁺ 和 Ba²⁺ 等成垢离子以及 CO₃²⁻ 的含量都较高, 这为成垢提供了条件。现场大量测试结果表明, 胜利油田的污水回注流程普遍存在碳酸钙结垢趋势, 并且井下结垢趋势大于地面结垢趋势。

2.3 腐蚀与结垢的关系

在腐蚀反应的过程中, 消耗 CO₂, 使水逐渐由酸性变为碱性, 促进结垢发生; 二氧化碳腐蚀的产物以垢的形式不均匀附着于管壁上, 引起垢下腐蚀。由此可以看出, 腐蚀与结垢相互依赖、相互促进, 对油田生产造成极大危害。因此, 从源头上控制注入水水质对防止或减缓井下管柱腐蚀具有重要的意义。

3 防腐油管及配套防腐工具

针对油田注水开发过程中存在的注水管柱腐蚀严重的问题, 研制应用了多种防腐油管^[12~14]。目前现场常用的防腐油管有镍磷镀油管、SK-54 防腐油管、氮化油管、环氧粉末涂料油管、钛纳米涂料油管、不锈钢内衬油管、改性玻璃钢内衬防腐油管、玻璃钢油管以及普通涂料油管等。

各种防腐油管在胜利油田的应用情况(见表 1)表明, 注水井使用防腐油管是十分必要的, 它在提高注水井工作时效的同时, 还可延长油管的使用寿命、减少作业次数、降低作业成本。截至 2006 年底, 胜

利油田共更换各种防腐油管 399×10⁴ m, 其中更换镍磷镀油管 233×10⁴ m、氮化油管 86×10⁴ m、玻璃钢内衬油管 10×10⁴ m、其他各种防腐油管 70×10⁴ m, 更新注水管柱的井 2 544 口, 有效改善了注水管柱的工作性能。

表 1 防腐油管在胜利油田的应用情况统计

油管类型	应用井数/口	应用效果
普通油管	2 609	防腐能力差、结垢严重
水井修复油管	154	腐蚀、结垢严重
镍磷镀油管	1 078	效果较好, 应用周期 4~5 a, 但油管丝扣存在腐蚀现象
氮化油管	385	防腐效果好
SK-54 油管	94	涂料易脱落, 内径小
普通涂料油管	685	效果差, 涂料易脱落, 腐蚀严重
钛纳米涂料油管	11	效果差、涂料易脱落, 腐蚀严重
不锈钢内衬油管	80	防腐、防垢效果好, 但易变形
改性玻璃钢内衬油管	73	效果较好, 有轻微结垢
玻璃钢油管	3	正在试验
环氧粉末涂料油管	4	正在试验

由于镍磷镀油管具有加工费用相对较低、镀层均匀和结合力强等优点, 是目前使用数量最多的一种防腐油管, 但其防腐效果受油层温度、注入水矿化度的影响较大。如现河采油厂河 31 区块的 3 口作业井, 镍磷镀油管下井 1 a 后基本上完好无损, 但同样的油管在梁 11 区块的使用情况就不理想, 部分油管出现了结垢、腐蚀现象, 镀层也出现片状脱落, 原因是梁 11 区块的水温比河 31 区块高 15 ℃, 地层水的矿化度也比河 31 区块高 5 000 mg/L。

氮化油管由于采用了渗氮工艺使油管表面光洁, 硬度提高, 耐腐蚀性能良好, 但这种油管由于表面硬度高, 油管丝扣上不到位, 容易出现漏失现象。SK-54 防腐油管是早期应用的注水井防腐油管, 它采用美国产 SK-54 防腐涂料, 涂层具有一定的附着力和防腐效果, 但其质地较脆, 撞击后易成块剥落, 造成井下事故, 且成本较高。例如 CB6B-3 井, 在作业过程中就出现了油管防腐层脱落后卡在打压球座上, 导致封隔器坐封失败的事故。

涂料油管均存在较严重的结垢、腐蚀问题, 一般从井深 2 500 m 以深开始结垢, 油管内壁结垢厚度可达 3~10 mm, 严重时可将底部尾管及十字架堵死。井口至井深 2 000 m 左右的油管腐蚀较严重, 主要原因是涂料层脱落, 腐蚀程度一般从上到下逐渐减轻, 油管内壁腐蚀产物厚度可达 1~15 mm, 腐蚀产物呈瘤状及块状分布, 部分腐蚀严重的油管本体及丝扣还会出现穿孔现象。

玻璃钢油管由于本身的材料性能决定了它具有较强耐腐蚀性, 但其价格比普通油管高出 20%, 且

不耐高温,强度低,下井深度受到一定限制,一般下入深度不能超过 2 000 m。

在注水井配套工具防腐方面,通常采用镍磷镀、渗氮、磷化和镀铬等防腐处理方式,其腐蚀速度为:无防腐>磷化>渗氮>镍磷镀>镀铬。井下工具防腐最好进行镀铬或镍磷镀处理,但镀铬对工具表面光洁度要求高、操作工艺复杂、镀层不均匀、成本较高。镍磷镀防腐工艺目前广泛应用于井下注水工具(如防砂管、注水阀、配水器和封隔器等)的防腐,其费用相对较低,具有镀层均匀、结合力强等优点,在运输过程和下井过程中镀层不易被损坏,防腐效果较好。

胜利油田目前采用的防腐油管种类虽然较多,但得到大面积推广应用的主要还是涂料防腐油管和镀层防腐油管两种。由于涂料油管尚无法解决涂料层大面积脱落的问题,因此耐腐蚀性能比镀层防腐油管差。由于氮化油管具有较好的耐腐蚀性能,因此氮化和镀层防腐技术将是今后一段时间内井下管柱防腐的主要手段。此外,随着玻璃钢防腐技术和玻璃钢内衬防腐技术的发展,这两种新工艺的良好防腐性能也将逐步显现出来。

4 结论与建议

1)针对胜利油田注水管柱腐蚀现状,在分析目前所用各种防腐油管的性能的基础上,提出推广氮化油管防腐技术,以降低腐蚀速度。

2)根据目前所用多种防腐油管的防腐效果,建议注水工具全部进行镍磷镀处理,以延长其井下工作寿命。

3)回注污水水质是影响管柱腐蚀的最主要因

素,因此应加强污水处理工作,进一步改善回注污水水质,提高污水水质达标率,缓解因此造成的井下管柱腐蚀和地层堵塞等问题,提高注水效率。

参 考 文 献

- [1] 赵凤兰,鄂捷年,胡海红. 注水系统腐蚀规律与防腐技术[J]. 油气田地面工程,2002,21(6):19-20.
- [2] 乔尚琪,滕凤云,乔宏,等. 油田注水系统微生物的腐蚀及其防治[J]. 山东科学,1999,12(3):61-64.
- [3] 于良民,赵海洲,刘璐. 油田注水管道的腐蚀现状及防腐措施[J]. 中国涂料,2006,21(1):43-45.
- [4] 黄国连,孙润泉,刘丽,等. 油田注水腐蚀问题研究[J]. 四川化工与腐蚀控制,1999,2(4):25-27.
- [5] 柳言国. 胜利油田注水井管柱腐蚀防护技术应用效果分析[J]. 腐蚀与防护,2003,24(8):361-362.
- [6] 蒲仁瑞,刘唯贤,李敏,等. 气井管柱腐蚀机理研究及防治[J]. 钻采工艺,2003,26(1):80-82.
- [7] 赵玲莉,李远林,马立华,等. 陆梁油田分层注水过程中注入水对套管腐蚀因素研究[J]. 新疆石油天然气,2006,2(2):65-67,81.
- [8] 郭润生,孙红江,刘杰. 韩渠油田注水管线的结垢腐蚀与防治[J]. 海洋石油,2001,21(3):49-51.
- [9] 左兴凯. 雅克拉凝析气田腐蚀状况与分析[J]. 石油钻探技术,2005,33(4):60-62.
- [10] 张智,施太和,周理志,等. 油气田开发过程中的流场诱导腐蚀[J]. 石油钻探技术,2007,35(3):79-81.
- [11] 林永学,陈雷,王立志. CO₂ 腐蚀环境下油管防腐技术方法探讨[J]. 石油钻探技术,1999,27(3):34-36.
- [12] 张红兵,刘志林. 管道内涂层涂敷工艺技术[J]. 石油规划设计,2002,13(3):41-44.
- [13] 康景峰,李小林,袁盼,等. 改性玻璃钢内衬油管在注水井中的应用[J]. 石油机械,2004,32(8):55-56.
- [14] 史宝光,孙宝京,贾斐,等. 氮化防腐油管在注水井中的应用[J]. 钻采工艺,2004,27(2):95-96.

[审稿 李相方]

Water Injection String Erosion Mechanism and Its Control

Li Rongqiang

(Oil Production Engineering Department, Shengli Oilfield Company, Sinopec, Dongying, Shandong, 257001, China)

Abstract: Considering the erosion occurred in downhole strings and tools during water injection and the associated problems, the main reasons for erosion were dissolved gas and scaling erosion based on analysis of the statistical analysis of water injection string in Shengli Oilfield. A series of measures to prolong the string working hour were used in Shengli Oilfield. All the measures to prevent erosion were analyzed. The analysis results indicate that one type of erosion resistant string was recommended. The future development for erosion control in string was pointed out.

Key words: water flooding pipe string; corrosion; corrosion control; Shengli Oilfield