

油田注水管线腐蚀因素及防腐措施

李艳芳 游军

延长油田股份有限公司宝塔采油厂

陕西延长石油(集团)有限责任公司延长气田采气三厂

DOI:10.12238/jpm.v4i7.6084

[摘要] 随着经济社会的快速发展,石油资源在经济发展中发挥着越来越重要的作用,我国的石油资源开发已经属于后期阶段,为了提高石油开采的效率、减少石油开采过程中的浪费,提升石油的可持续利用率,在石油开发的过程中多采取注水的方式来提高石油的可利用率。但油田注水管线的使用也有许多弊端,管线中注入水分会加快管线的氧化,注水管线就极易受到腐蚀,油田注水管线的腐蚀会给石油开采带来诸多的负面影响,如果管线腐蚀严重,可能生产的石油会出现泄漏现象,不仅会造成严重的资源浪费,而且泄露的石油也会对土地造成一定程度的污染,所以油田注水管线的防腐就极为重要。本文中主要探讨了油田注水管线的腐蚀因素,并针对性地提出了一些相应的防腐措施,希望对于油田注水管线的腐蚀预防提供参考依据。

[关键词] 注水管线; 腐蚀; 防腐; 结垢

Corrosion factors and anticorrosion measures for oilfield water injection pipeline

Li Yanfang Youjun

Baota oil production plant of Yanchang Oil Field Co., Ltd. and third gas production plant of Yanchang Shaanxi

Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd.

[Abstract] with the rapid development of economy and society, oil resources play an ever more important role in economic development, the development of oil resources in China has belong to the late stage, in order to improve the efficiency of oil exploitation, reduce the waste in the process of oil exploitation, improve the sustainable utilization of oil, in the process of oil development to adopt the way of water injection to improve the utilization rate of oil. But the use of oilfield water injection pipeline also has many disadvantages, the pipeline injected water will speed up the oxidation of pipeline, water injection pipeline is extremely vulnerable to corrosion, oilfield water injection pipeline corrosion will bring a lot of negative effects to oil exploitation, if the pipeline corrosion is serious, may produce oil leakage phenomenon, not only can cause serious waste of resources, and leaked oil will cause a certain degree of pollution to the land, so the oil field water injection pipeline corrosion is very important. In this paper, the corrosion factors of water injection pipeline are discussed, and put forward some corresponding anti-corrosion measures, hoping to provide reference for the corrosion prevention of water injection pipeline.

[Key words] water injection pipeline, corrosion, anticorrosion and scaling

1 加强注水管线结垢腐蚀防治分析的必要性

油田污水的水质与油品性质、地层条件、钻采工艺、油气集输工艺、原油除水的方式、水处理工艺等密切相关,其组成也非常复杂。除含有各种无机盐离子、原油、细菌固体颗粒、溶解性气体等,还有各种油田化学药剂的残留,增加了油田污水处理的难度。虽然现在对回注水处理系统的研究已经取得丰硕的成果,但是部分油田仍然无法摆脱越来越严重的结垢和腐蚀现象。

油田注水类型有污水回注、清水注入、清污混和注入或注

海水等。因水的热力学不稳定性和化学不相容性、回注系统温度压力和管道局部流态的变化易造成油藏环境及采出系统中的结垢问题。

油田结垢有以下危害:

(1) 油田出现结垢现象时,垢会和污物、盐类粘结在一起,会导致注水系统堵塞使注水困难。

(2) 结垢使金属表面变的不均匀,易导致电化学腐蚀,并加剧局部腐蚀,使管线穿孔刺漏。

(3) 结垢的地方易滋生细菌,细菌的代谢产物能粘附更多

的脏物,使结垢程度更加严重。

(4) 减少设备和管线的使用年限,容易产生生产事故,给油田造成损失腐蚀一直是油田生产的疾患,油田绝大多数事故都是由腐蚀引起。油田注水系统的腐蚀主要表现为水处理设备点蚀严重,集输、注水管线、等出现腐蚀穿孔、承压能力降低等现象。频繁的穿孔刺漏问题,不仅污染环境、影响注水稳产,还使维护人员疲惫不堪,极大影响了油田经济效益。

注水系统腐蚀主要有三方面的危害:

(1) 影响设备和管线的使用寿命,增加设备和管线维护费用。

(2) 腐蚀减弱了设备对压力的耐受能力,而注水压力通常较高,这容易导致管线刺漏,出现浪费水源,注水量减少的情况。

(3) 频繁的注水事故,使抢修人员疲于奔命,浪费人力物力,降低生产效率。延长油田多数油藏属于超低渗透和低渗透油藏,部分区块因多层开发,地层水水型复杂,采出液矿化度高、成垢离子含量高、pH低、酸值高、铁含量高,并且含有溶解氧等溶解性气体,加上细菌及泥沙等杂质的影响,导致注水管线结垢和腐蚀情况非常严重。尤其是部分作业区,存在注水压力不断增加、管线经常发生刺漏,悬浮物含量大量超标的问题,增加了污水处理和回注的难度。由此,研究结垢与腐蚀问题,对油田顺利注水,保证油田稳产、增产、安全生产具有重要意义。

如果注水管线发生严重腐蚀,则不仅对注水管线本身产生影响,同时也会造成管线维护成本的增加。加强注水管线腐蚀防治,一是有助于管线质量的提升,为整个注水开发工作奠定坚实的基础,二是可以降低其对企业生产的影响,降低企业成本,提高工作成效。

2 注水管线腐蚀因素

油田注水的管线一般是金属材质,因此其腐蚀属于金属腐蚀的规律和特性。以下首先分析金属管线腐蚀的主要因素。

2.1 注入水水质的影响

2.1.1 对青平川区注水管线结垢腐蚀的现场调研

宝塔采油厂青平川区高家沟注水站供109口井注水,平均日注水255方,注入水源为长2层油田采出污水。据现场调研资料显示,该站注水设备、管线的宏观腐蚀形貌较为严重,为了准确描述和分析此注水站的腐蚀情况,对其进行了现场挂片实验。结果显示,水样中被腐蚀的挂片表面上有一层黄色产物,最里面的为红褐色产物,产物层较薄,分布不均匀。将试样表面上的腐蚀产物清洗掉,发现其上面布满了许多由局部腐蚀产生的坑点。

2.1.2 注入水水质成分分析

水质是引起腐蚀结垢的本质原因,对注水水质进行分析测定是极为重要的。水质分析结果见表1水型为氯化钙型,从表1中可以看出,注水水样中除含有大量的有害离子外,矿化度也极高。有人通过试验得出^[3],矿化度对腐蚀影响十分显著,腐蚀速率随矿化度的增加而增大。

表1 注水水质分析

分析项目	CL ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ 、K ⁺	总矿化度
含量/ppm	31373.25	115.94	98.78	9834.27	399.56	11325.92	53147.72

2.1.3 水的腐蚀性分析

对注水站的水样分别进行了室内和现场腐蚀性试验,其结果见表2。试验过程显示,挂片在45天时腐蚀情况比较严重,表面均匀分布着颗粒较细的红褐色腐蚀产物;随着腐蚀时间的延长,试样上的腐蚀产物量逐渐增多,呈颗粒状,分布较均匀。此外,试样表面所生成的腐蚀产物均较疏松,其与基体的结合力较差。

表2 水质的腐蚀性结果

项目	室内试验	现场试验
平均腐蚀速率/mm/a	0.0942	0.1745

从表2中可以看到,现场试验中的腐蚀速率较室内的大很多,这是由于室内模拟现场的环境存有许多局限性,如水的流动性、不稳定性和腐蚀性气体的挥发等因素的差异共同导致的。

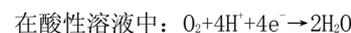
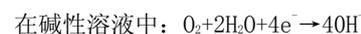
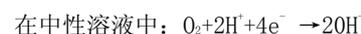
2.1.4 注入水水中介质腐蚀

根据水质试验分析结果判定,其注水水质的矿化度高,同时含有大量的有害离子,如Ca²⁺、Mg²⁺和HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻等。高矿化度及高含量Cl⁻的水本身不具有很强的腐蚀性,但却是加速腐蚀的重要因素,在腐蚀介质中充当催化剂的作用。同时,水样中共存的多种离子对腐蚀的相互影响也较为复杂。

2.2 气体的腐蚀

注入水中即使含有很少量的氧,也会对金属造成严重的腐蚀,腐蚀性气体主要有溶解氧,如果在水中还有二氧化碳或溶解的H₂S等气体的存在,对金属腐蚀的速率将会大幅度的上升。氧气在水中的溶解度和温度有很大的关系。

油田污水中常含有一定的水分,还溶解有氧气,水中溶解氧的腐蚀作用是通过阴极上耗氧反应进行的,其电极反应如下:



由于阴极上进行了耗氧反应,将促进注水管线及设备的基体不断离解成离子而溶解,从而发生腐蚀。如果含氧系统中同时有CO₂和H₂S气体存在,则会加剧CO₂和H₂S的腐蚀,是造成注水管线腐蚀的重要原因。

2.3 细菌腐蚀

注水管线所处的环境为细菌滋生提供了良好的物理环境,细菌在滋生之后就一直侵蚀着管线,造成了管线腐蚀问题。注入水中含有硫酸盐还原菌、腐生菌和铁细菌等,实验证明,水中的细菌是造成注水管柱腐蚀的一个极其重要的因素,由于长期的注水,在注水井周围形成了一个低温层,这就为各种细菌生长、繁殖提供了“温床”,从而导致了金属腐蚀速率的增长。在这些细菌中起主要作用的是硫酸盐还原菌。

大量研究表明,细菌腐蚀中危害最大的主要是厌氧型细菌SRB。由于垢下氧浓度比其它部位低,厌氧菌SRB可大量繁殖,造成严重的氧浓差腐蚀和细菌腐蚀。SRB能把水中的SO₄²⁻中的S⁶⁺还原成S²⁻,进而生成副产物H₂S而引起腐蚀。在H₂S反应中产生的FeS又是造成地层堵塞的极有害的物质。SRB主要是附着在管壁上生长,它的腐蚀形式主要是在附着部位产生点蚀。

2. 4pH 值的影响

pH 数值是表示溶液酸性或者是碱性的数值, 腐蚀程度与 pH 值之间有很大的关系, 管线腐蚀是受到氧扩散的原因。在通常情况下, pH 值在 4 到 10 之间时对腐蚀速率没有影响; 在 pH 值小于或等于 4 时, 溶液处于酸性范围, 金属表面的氧化物膜会慢慢溶解, 将直接置于酸性溶液中, 腐蚀速率加快。因此适当提高注入水的 PH 值, 可以有效解决酸腐蚀的问题。当溶液 pH 值在大于 10 以上的碱性范围内, 金属表面的保护膜三氧化二铁会逐渐发生钝化, 从而大大降低腐蚀速率, 但是当 pH 值过高时, 三氧化二铁会逐渐溶解形成铁酸钠, 加快金属的腐蚀。

2. 5 温度造成的腐蚀

温度是造成注水管线腐蚀的重要原因, 温度低于 80C 的情况下注水管线的腐蚀性处于有效的控制内, 温度超过 80C 之后, 随着温度的升高, 腐蚀程度就不断增加, 只有达到一定温度的情况下腐蚀才会减速。

2. 6 注水管线本身的问题

一些油田注水管线本身的质量问题也会加速油田注水管线的被腐蚀性。比如, 油田注水管线的防腐层如果质量不合格, 其使用寿命比较低, 对油田注水管线不能够起到很好的保护作用。同时管线出现损坏、防腐层老化等原因导致注水管线的防腐性降低。

3 注水管线防腐措施

3. 1 定期检查管线的防腐性能并及时清理更换管线

要从根源上解决管线的腐蚀问题, 首先要使用优质的注水管线。为增强注水管线的防腐性能, 及时检查管线的表面, 避免防腐质子和管线直接接触加速防腐速度, 管线表面的防腐技术有两种: (1) 镀层技术: 镀层技术是使用电镀、化学镀等工艺, 将特殊的离子添加在管线的表面上增加管线的防腐性能, 确保管线的防腐性能达到标准; (2) 涂层技术, 涂层技术是在注水管的外部涂抹特殊材料达到防腐的效果。在使用这两项技术的时间内, 需要及时、定期检查管线的防腐性能, 如果有问题需要立即解决同时避免防腐层老化, 造成更多腐蚀问题出现。同时还要定期检查管线内部的污垢情况, 如果管线内部污垢情况严重的情况下考虑更换新的管线。

3. 2 注入水水质管理

第一, 水处理流程中应添加二级沉降构筑物, 以延长源水的沉降时间, 降低源水进入水处理设备前的含油量和悬浮物。

第二, 应尽量使整个水处理流程密闭化, 以减少溶解氧的腐蚀。

第三, 应加强日常管理, 做到对注入水水质的严格控制。

此外, 设备运转一段时间后, 要对设备进行定期反冲洗。必要时采取电化学保护法或更换耐腐蚀管线以减少或防止各种类型的腐蚀。缓蚀剂的添加只能延缓或减轻腐蚀结垢的程度, 不能从根本上解决问题。

3. 3 改善管线温度

温度情况影响管线的腐蚀速度, 通过化学反应方式和物理方式改善管线运行的现场环境, 让管线运行温度保持在适宜状态。化学反应方式^[5]是在注水中加入一定的缓冲剂与杀菌剂减缓细菌的滋生速度, 从这些角度上出发控制腐蚀问题。物理方式是在管线上涂抹一层环氧耐温涂料, 这种材料具备良好的隔

热性和耐热性, 可以减少水对管线的腐蚀。

3. 4 降低细菌滋生的可能性

细菌滋生的原因导致防腐速度加快, 降低细菌滋生或者是使用杀菌剂, 可以降低管线腐蚀速度, 在水中使用杀菌剂, 杀灭水中存在的细菌降低细菌对管线侵蚀的可能性, 是很好的效果。实际上这种方式不适合长期使用, 杀菌剂不适宜长期使用, 主要原因是由于长期使用杀菌剂, 细菌本身的抗体增加, 抵抗性增强, 越往后使用杀菌的效果越不明显, 所以最好在初期使用杀菌剂。

4 当前存在的主要问题

现阶段, 经典的污水处理工艺, 配合当前的新技术和新手段, 已经取得了骄人的进步, 但是随着油气田开发进入特高含水期, 采出污水处理仍旧存在着一些具有挑战性的工作。

(1) 由于现阶段科技发展的局限性, 结垢和腐蚀问题得不到彻底的根治, 结垢和腐蚀现象依然严峻。

(2) 油田水质和水处理工艺复杂, 情况特殊, 导致一些比较好的阻垢防腐技术无法实施或者效果不好。

(3) 油田在建设初期对结垢和腐蚀的预防重视不足, 或受制于资金、运作压力等其他原因, 没有采取较好的防护措施。往往是等到结垢和腐蚀严重到妨碍正常注水时才引起相关人员的重视。

(4) 有些作业区悬浮物含量严重不达标, 或水质存在二次污染的问题, 但是现场人员素质参差不齐, 科研设备简陋, 找不到问题存在的根本原因, 盲目的以提高药剂加量, 上新型设备为中心, 最终又被预算成本所束缚, 达不到目的。

5 结语

石油资源是现代社会发展的一种必不可少的资源, 对人类的生产生活发挥着至关重要的作用。油田注水管线的侵蚀是石油资源开发和利用过程中的一个普遍的问题, 也是石油开采和运输过程中一个比较棘手的问题^[6]。本文主要分析了油田注水管线的腐蚀因素, 其中包括内部的注水水质影响腐蚀、微生物细菌的腐蚀和油田注水管线本身的特质等因素, 并从四个方面入手提出了解决油田注水管线的腐蚀的措施, 希望本文能够对解决油田注水管线腐蚀问题发挥参考作用。为了提高油田注水管线的防腐性能, 应当尽量使用优质管线和加强管线防腐管理, 要保护管线本身的防腐性能, 最大程度控制腐蚀的速度降低腐蚀的存在。

[参考文献]

- [1]朱洪华, 高义方, 冯硕注水井油套环空带压原因分析及治理探索[J]中国石油和化工标准与质量, 2019(11)
- [2]殷启帅, 杨进杨宇平等海上油田注水开采中 S 成因及油管腐蚀分析[J].表面技术 2017, 46(9): 171-178
- [3]刘晶妹, 李强, 龙媛媛. 胜利油田强腐蚀区块管线腐蚀影响因素研究 J. 腐蚀与防护, 2006, 27(6)
- [4]赵景茂左禹, 熊金平等. 在 NaHCO₃-NaCl 体系中阴离子对低碳钢点蚀的抑制作用 J. 腐蚀科学与防护技术, 2001, (13): 77-80
- [5]朱相荣, 王相润, 等. 金属材料的海洋腐蚀与防护[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [6]赵福麟. 油田化学[M]. 山东东营: 石油大学出版社. 2000.