

热注水采油过程中的集输管道腐蚀与防护技术研究

杨娜

曙光采油厂基建管理部

【摘要】随着油田开发的深入,热注水采油技术因其能够有效提升原油采收率而得到广泛应用。然而,在热注水采油过程中,集输管道的腐蚀问题愈发严重,严重影响了油田的安全生产与经济效益。因此,本文通过分析热注水采油过程中集输管道腐蚀的主要原因及类型,探讨了高温高压环境下溶解气体及腐蚀性物质对管道腐蚀的加剧作用,并针对腐蚀问题提出了材料选用、化学防腐、阴极保护、涂层防护、优化管道设计及加强监测与维护等多种防护技术。研究表明,合理的防护措施可有效延长管道的使用寿命,保障油田的安全生产,降低油田管道的整体维护成本。

【关键词】热注水采油;集输管道;腐蚀机理;防护技术

Research on corrosion and protection technology of gathering and transportation pipeline in the process of thermal water injection

Yang Na

Infrastructure Management Department of Shuguang Oil Production Plant

【Abstract】With the deepening of oil field development, thermal water injection oil production technology is widely used because of its effective improvement of crude oil recovery. However, in the process of thermal water injection, the corrosion problem of the gathering pipeline becomes more and more serious, which seriously affects the safe production and economic benefits of the oil field. Therefore, by analyzing the main causes and types of pipeline corrosion in the process of thermal water injection, this paper discusses the effect of dissolved gases and corrosive substances under high temperature and high pressure environment on pipeline corrosion, and proposes for corrosion problems, material selection, chemical corrosion, cathode protection, coating protection, optimizing pipeline design and strengthening monitoring and maintenance. The results show that reasonable protective measures can effectively extend the service life of pipeline, guarantee the safe production of oilfield, and reduce the overall maintenance cost of oilfield pipeline.

【Key words】thermal water injection; gathering and transportation pipeline; corrosion mechanism; protection technology

引言

随着油田开发的不断深入,热注水采油技术因其能够提高原油采收率而被广泛应用。然而,在热注水采油过程中,集输管道的腐蚀问题日益凸显,严重影响了油田的安全生产和经济效益。研究集输管道的腐蚀机理和防护技术,对保障油田的长期稳定生产具有重要意义。

一、热注水采油工艺概述

热注水采油是一种通过向油藏注入加热水以降低原油黏度、增加流动性,从而提升采收率的技术。该工艺主要包含四个步骤,分别为水的加热与注入、热能传递、原油采出和集输处理。

1. 水的加热与注入

在热注水采油工艺中,注入水的加热是关键的第一步,通常需要通过专用加热设备将水加热至油藏所需的温度,确保其具备足够的热量传递能力^[1]。加热后的水通过注水井注入到油藏层,注水的温度和流量需根据油藏条件进行精准控制,以实现地层温度的有效提升。加热水的稳定供应和注水系统的密闭性直接关系到采油效果,避免能量流失也有助于降低采油成本。

2. 热能传递

热水注入油藏后,在地层中开始传递热量,逐步加热油层的周围区域。这一过程可以有效提高原油的温度,导致其黏度下降,增大其流动性。热能传递的深度和范围受到油藏性质、注水温度和地层结构的影响。通过充分传递热量,热注水工艺可改善原油的物理状态,从而为后续采出作业提供

更加理想的流体条件。这种方式尤其适用于黏度较高的稠油油藏，能显著提升采油效率。

3. 原油采出

在热水的作用下，油层温度上升，原油黏度降低，从而提高了原油的流动性。黏度降低后的原油更易在地层中流动，经过采油井被抽出至地面^[9]。为保持采油效果，通常配备精密的采油控制系统以优化采油速率，避免地层压力骤降而影响采出效率。此过程对采油设备的性能提出较高要求，确保原油流动的持续性是高效采油的关键。在整个采出过程中，降低油品的流动阻力对提升采收率起到积极作用。

4. 集输处理

采出的原油需要通过集输管道输送至处理站进行进一步分离与净化。由于采出的原油可能含有水分、气体和杂质，处理过程能够将原油中的杂质和多余的水分分离出来，以提升产品质量。集输管道在此环节中扮演了至关重要的角色，管道的设计和防腐技术对于保障集输过程的顺畅至关重要，尤其是针对稠油的特性，集输管道需要具备足够的耐腐蚀能力。

二、热注水采油过程中的集输管道腐蚀问题分析

1. 腐蚀原因

热注水采油过程中的腐蚀问题受到高温高压环境的强烈影响，这一环境极大加速了管道的电化学反应过程。注入水经过高温加热后，通过高压输送至油藏内，这种高温高压条件会使金属材料内部的活化能增加，从而加速腐蚀反应^[9]。此外，注入水和采出液中常含有溶解氧、二氧化碳和硫化氢等腐蚀性介质。这些气体溶解于水中后会与金属表面发生氧化还原反应，导致金属离子流失，尤其是硫化氢与铁发生反应生成硫化铁，会进一步加剧金属的腐蚀。在管道系统中，不同金属材料之间由于电位差产生电偶腐蚀，不同电极电位的材料之间的相互作用，形成腐蚀电流，从而加速了整个管道的腐蚀速率。这种腐蚀的积累效应严重影响了管道的耐用性，增加了维护难度和运行风险。

2. 腐蚀类型

在热注水采油集输管道的腐蚀类型中，均匀腐蚀是较为普遍的一种表现形式，这种腐蚀导致管道内壁均匀减薄，虽不易察觉，但却逐步削弱了管道的承压能力。除此之外，管道内部介质的流动性及腐蚀介质浓度不均匀，还会形成局部腐蚀，包括点蚀和缝隙腐蚀。这种局部腐蚀会在管道表面形成小孔或裂隙，进一步演变成穿孔或泄漏问题^[9]。此外，在

热注水采油中，管道常受压力波动的影响，导致管道内应力较大。在拉应力和腐蚀介质的共同作用下，管道材料会出现应力腐蚀开裂现象，即金属在拉应力下受到腐蚀介质的侵蚀，发生脆性断裂。应力腐蚀开裂通常是管道失效的主要原因之一，也是高风险的腐蚀类型。

3. 腐蚀的影响

管道腐蚀对热注水采油的安全性构成极大威胁，腐蚀会导致管道的强度逐步下降，最终可能引发爆管和泄漏事故。腐蚀产生的管道壁厚减薄、应力集中等现象，使管道的抗压能力降低，增加了运行过程中的安全风险。此外，腐蚀造成的管道损坏增加了维修和更换的频率，从而导致运营成本增加，尤其是对深层油田而言，维修成本更为高昂，对油田的经济效益造成不良影响。管道泄漏所引发的油气外溢对周边环境带来了严重的污染风险，泄漏的油气进入土壤或水体后会对生态系统造成不可逆转的损害，增加环境治理的成本和难度。管道腐蚀不仅威胁到油田的安全生产和经济收益，还会带来长期的环境和社会问题。

三、集输管道腐蚀防护技术分析

1. 材料选用

选用耐腐蚀合金材料是应对热注水采油过程中集输管道腐蚀的首要防护策略。诸如不锈钢和镍基合金等耐腐蚀合金材料，均具有优良的抗氧化和抗硫化性能，在高温高压及腐蚀介质环境中能有效延长管道的使用寿命。这些材料的合金元素能在金属表面形成致密的保护膜，阻止腐蚀性离子的侵入，降低金属的氧化速率。此外，非金属材料如玻璃钢和塑料也越来越多地应用于集输管道系统。这类材料不仅在化学性质上具有惰性，不受溶解氧、硫化氢和二氧化碳等腐蚀性气体的影响，而且具有良好的抗冲击性和可塑性，适合用于复杂地质条件下的管道铺设。这种材料选择上的优化，可以使管道能够在耐久性和经济性之间取得良好的平衡，为高腐蚀性环境中的管道防护提供了新的思路。

2. 化学防腐

化学防腐技术通过介质中的化学反应来降低管道的腐蚀速率，添加缓蚀剂是常见的措施之一。缓蚀剂通过在金属表面形成保护膜，降低金属与腐蚀介质的接触，进而抑制电化学反应。常用的缓蚀剂包括磷酸盐和胺类化合物，在选择缓蚀剂时需考虑其与介质的兼容性、耐温性等特性，以确保其在高温条件下保持稳定性。除了缓蚀剂，水质处理也是防止腐蚀的重要手段。注入水的pH值调控、除氧脱硫、降低

腐蚀性离子的含量,能有效抑制管道内腐蚀介质的活性^[5]。水质处理可降低氧化还原反应的发生率,延缓管道壁面的电化学腐蚀过程,尤其是针对高含氧和含硫的水质环境,因此,采取综合的水质处理方法非常重要。

3. 阴极保护

阴极保护技术在集输管道防腐中有着广泛应用,主要通过控制电化学腐蚀过程中的电流方向来实现对金属管道的保护。牺牲阳极法是常用的阴极保护方式,通过在管道附近埋设比钢管更易氧化的阳极材料(如锌或镁),利用阳极的腐蚀来保护管道作为阴极,从而减少其电化学腐蚀速率。外加电流法则通过外部电源提供保护电流,以调节管道电位,确保金属处于不易发生腐蚀的状态。外加电流法适用于长距离、高腐蚀环境下的管道系统。两种阴极保护方法结合使用,能够显著降低管道腐蚀率,同时延长其使用寿命。在实际应用中,根据管道的埋深、介质成分和环境电导率来选择适宜的阴极保护方案,可以更有效的提升防腐效果。

4. 涂层防护

涂层防护通过在管道内外壁涂覆防腐材料,从而阻断腐蚀介质与管道金属的直接接触。环氧树脂涂层因其优良的耐高温、耐酸碱和防腐性能,在热注水采油管道中应用较为广泛。环氧树脂在固化后形成致密的保护层,能有效防止腐蚀性气体和离子的渗透。除了外壁涂层,内壁衬里技术也可显著增强管道的耐腐蚀性能。这种技术主要是在管道内壁覆以橡胶、塑料等材料,通过物理隔离达到抗腐蚀效果。这些非金属衬里材料具有良好的抗冲击性和抗磨损性能,适合长时间使用且易于维护。涂层和衬里技术不仅能有效保护管道金属免受介质腐蚀,还能提升输送效率,也是集输管道防腐的重要手段之一。

5. 管道设计与施工

优化管道设计和严格的施工质量控制是预防腐蚀的重要环节。设计阶段应合理减少弯头和焊缝数量,以降低腐蚀敏感部位的数量和应力集中现象。管道内的弯头和焊缝通常

是介质积聚和腐蚀加剧的区域,通过优化流线设计,可以减少介质的滞留和紊流,从而降低局部腐蚀的风险。在施工中确保焊接质量至关重要,高质量的焊接能有效减少残余应力和材料缺陷,减少腐蚀发生的隐患。同时,管道敷设的埋深和包覆材料应符合标准规范,确保管道在地下环境中的稳定性和耐久性。

6. 监测与维护

腐蚀监测与管道维护是确保集输管道长期安全运行的重要保障措施之一。定期检测可通过超声波、射线检测等非破坏性方法对管道腐蚀状况进行评估,及时发现壁厚减薄、点蚀等问题,防止腐蚀恶化。随着智能化技术的进步,腐蚀监测传感器应用于集输管道防护中,通过传感器实时监测管道的电位、电流密度和介质成分等参数,实现对腐蚀风险的预测与预警。数据分析平台将监测数据实时上传并进行分析,为管道维护提供科学依据。监测与维护结合可在管道发生腐蚀之前采取防护措施,有效提升管道的运行安全性和稳定性。

四、结语

热注水采油过程中,集输管道的腐蚀问题不仅关系到油田的安全生产与经济效益,也对环境保护提出了严格要求。通过对腐蚀机理的深入分析,结合材料选用、化学防腐、阴极保护、涂层防护、设计优化和监测维护等多种防护措施,可以有效降低腐蚀发生率,延长管道使用寿命,减少因腐蚀导致的事故风险,从而提升生产的稳定性和经济效益。未来,可以进一步加大对新型耐腐蚀材料和智能化监测技术的研究力度,以实现更加精确、实时的腐蚀防护效果。同时,应关注管道全生命周期的腐蚀防护策略,在材料选择、施工工艺、检测维护等环节不断创新,为油田的高效与可持续发展提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1]吴埭. 油气集输管道完整性检测与评价技术研究[J]. 石化技术, 2024, 31(10): 122-124.
- [2]任立杰. 油气长输管道腐蚀监测技术与应用综述[J]. 中国石油和化工, 2024, (10): 68-69.
- [3]张闻. 油气储运中输油管道防腐工艺研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(18): 152-154.
- [4]冯巍. 采油工程中注水工艺存在的问题与处理[J]. 化学工程与装备, 2023, (08): 148-149+152.
- [5]徐从武. 采油工程中注水工艺存在的问题与处理探讨[J]. 化学工程与装备, 2018, (01): 60+33.