

油气集输管道在海洋环境中的腐蚀与防护策略分析

张辉 王永强 顾红星（山东信晟科技有限公司，山东 东营 257000）

摘要：现阶段陆上大型油气田的储量总体呈下降趋势，并且资源开采难度显著增加，在海上油气田拥有良好开采基础的背景下，有必要着眼于海洋石油的开采条件需求展开研究。海洋石油开采完成后，必然需要通过油气集输管道进行输送，为保证资源开采、运输的稳定性，本文就油气集输管道在海洋环境中的腐蚀与防护策略进行分析，以期推进油气集输管道运行安全性的进一步优化，借此有效提升油气资源开发效率。

关键词：油气集输管道；海洋环境；材料腐蚀；材料防护

中图分类号：TE988.2 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）020-0109-03

Analysis of corrosion and protection strategies of oil and gas gathering and transportation pipelines in marine environment

Zhang Hui, Wang Yongqiang, Gu Hongxing (Shandong Xinsheng Technology Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: At present, the reserves of large onshore oil and gas fields are generally declining, and the difficulty of resource exploitation has increased significantly, so it is necessary to focus on the demand for offshore oil exploitation conditions under the background that offshore oil and gas fields have a good exploitation foundation. After the completion of offshore oil exploitation, it is necessary to transport it through oil and gas gathering and transportation pipelines to ensure the stability of resource exploitation and transportation. In this paper, the corrosion and protection strategies of oil and gas gathering and transportation pipelines in the marine environment are analyzed, in order to promote the further optimization of the operation safety of oil and gas gathering and transportation pipelines, so as to effectively improve the efficiency of oil and gas resource development.

Keywords: oil and gas gathering and transportation pipelines; Marine environment; corrosion of materials; Material protection

1 海洋环境对管道的影响因素

1.1 海水流速

在海洋环境中，海水中的氧分子、矿物元素分子会随着海水一起流动，不断冲刷管道表面，导致管道表面的金属膜受到破坏，并且矿物分子也会在此过程中迅速扩散到金属表面。通常情况下，海水的流速越快对管道运输网络中油气集输管道的影响越显著，更容易给管道表面带来较强的冲刷作用，进而造成严重的腐蚀问题，影响油气集输管道的运行安全。

1.2 海水含盐量

海水与淡水资源不同，海洋环境中存在大量的盐分，很容易对油气集输管道造成腐蚀。在对海洋环境、陆上环境中的油气集输管道进行分析的过程中发现，对于陆上环境的油气集输管道而言，含盐量确实会对管道造成腐蚀，但含盐量不是最主要的腐蚀问题原因，而海洋环境中的油气集输管道由于海水含盐量会直接影响水的成分比例和导电率，更容易造成腐蚀问题，这一情况在近海区域较为明显。

1.3 海水温度

在海洋环境中，不同区域、位置的海水温度差异较大，并且还会受到季节变化、深度等因素的影响。

相对而言，深海位置的海水温度较低，对海底管道造成腐蚀问题相对轻微。但是，由于油气资源需要通过油气集输管道运输到陆地，在海水温度上升的情况下，近海区域的油气集输管道更容易受到温度影响，进而产生腐蚀问题。同样的，随着纬度的降低，海水温度也会出现升高情况，进而对管道带来较为明显的腐蚀问题。

2 油气集输管道在海洋环境中的腐蚀问题

2.1 内腐蚀类型

2.1.1 失重腐蚀

失重腐蚀的主要原因与溶解性酸性气体存在密切联系。在海上油田的开发过程中，二氧化碳和硫化氢是油田伴生气的重要组成部分，会与油气资源一起进入到油气集输管道中，进而对油气集输管道造成腐蚀，均属于溶解性酸性气体导致的失重腐蚀。在对失重腐蚀进行分析的过程中发现，二氧化碳和硫化氢具有溶于水的特性，在溶于水以后对钢铁管道有较强的腐蚀性。此外，二氧化碳腐蚀形成的产物会在管道内壁上长期堆积，管道内壁会在此类产物的影响下呈现粗糙化的趋势，油气资源运输需要被迫消耗更多的能量，并且油气集输管道本身的资源输送能力也会因此明显

下降。

2.1.2 腐蚀开裂

硫化氢不仅容易造成失重腐蚀，而且会产生进一步问题，即腐蚀开裂。腐蚀开裂的破坏力较强，并且在油气集输管道中具有一定的常见性。油气集输管道会受到应力和海水中特殊介质的共同影响，进而引发应力脆断，也可以称为应力腐蚀开裂。在通过油气集输管道输送油气资源的过程中，一旦硫化氢的含量超过管道的承受极限，便容易引发应力腐蚀开裂问题。在对腐蚀开裂问题进行分析的过程中发现，油气集输管道的高应力和海水中电化学腐蚀的共同作用是引发上述问题的根源。

2.1.3 流体冲蚀

流体冲蚀一般需要经过较长的时间，主要发生在磨损问题较为严重的位置，是指腐蚀流体高速冲击管道表面，导致金属管道遭到破坏。流体冲蚀同样具有一定的常见性，由于在海洋环境中油气集输管道始终需要与外界其他因素产生接触，在流体冲蚀问题的影响下，暴露在流体中的设备设施都会受到影响，导致设备设施的使用功能和使用寿命都会出现难以达到预期目标的情况。为做好对流体冲蚀的有效控制，必须保证在发现问题的第一时间便能做好修复工作，借此降低运输安全风险和污染问题的发生率，以免在流体冲蚀的作用下出现管壁不断变薄的情况。

2.2 外腐蚀类型

2.2.1 电偶腐蚀

海水属于性能较好的电解质，具有电阻小的特点。在海水环境中，通过电解反应能够产生较强的腐蚀效果，进而给油气集输管道的外表面结构质量造成负面影响。加上在海水中金属的电极电位存在波动情况，不同金属在接触后会产生化学反应，进一步加快低电位金属腐蚀速度，并且也能够在一定程度上控制高电位金属的腐蚀速度。因此，在电偶腐蚀中，可以通过对管道金属材料的调整来完成对电偶腐蚀速率的控制。

2.2.2 缝隙腐蚀

在管道运输网络中，管道材料的长度始终是有限的，需要通过多段管道材料相互连接才能让油气集输管道具有较强的输送能力。但是，在管道材料相互连接的情况下，难免会产生管道缝隙，虽然能够通过部分介质完成控制，但是金属材料依旧会与介质产生一定的反应，进而带来缝隙腐蚀问题。如果油气集输管道处于全浸状态，油气集输管道受到的腐蚀影响最为严重，并且在海洋大气环境中依旧有可能会出现缝隙腐蚀情况。

2.2.3 点蚀

点蚀问题主要与海洋环境中的氯离子存在直接联系。由于海洋环境中的氯离子数量较多，管道金属表面会受到氯离子的影响，进而产生点蚀问题，导致油气集输管道出现腐蚀问题。

3 在海洋环境中有效保护油气集输管道的防护策略

3.1 做好油气集输管道表面处理

为保证在海洋环境中油气集输管道能够长期保持稳定、安全的运行状态，必须积极做好油气集输管道表面处理工作，通过表面处理的方式有效降低外腐蚀对管道材料带来的影响，从而让油气集输管道的使用寿命能够达到预期目标。在油气集输管道中，防腐处理的实际效果会反映到管道的使用寿命上，想要做好防腐处理，则必须强化管道材料涂层和基体的黏结力，通过有效的管道表面处理措施全面强化管道运输网络的整体质量，并借此延长管道的使用寿命。

结合现阶段油气集输管道表面处理工作的实际落实情况来看，在海洋环境中由于管道材料长期与海水接触，导致管道出现锈蚀情况的概率相对较高。因此，为实现对油气集输管道表面处理工作落实效果的保障，必须高度重视管道材料经过表面处理后的防锈质量。

相关工作负责人需要在将材料应用到油气集输管道前做好检查验证，保证经过管道表面处理后，材料表面不存在任何锈蚀情况并且具有较为突出的防锈性能，真正做到完全去除油气集输管道表面的铁锈。在当前阶段的油气集输管道表面处理工作中，可以围绕管道材料强化油气集输管道的防腐蚀性能。

一方面，可以通过优化材料本身的防腐蚀性来做好对油气集输管道的有效保护，通过在建造管道的过程中适当加入钛及镍铝合金等具有较强防腐蚀性的材料对油气集输管道进行针对性强化。

另一方面，可以通过在管道材料上涂抹保护层，该表面处理方式的防腐效果较为突出，并且能够有效控制材料消耗，显著提升油气集输管道的防护性能。

3.2 综合运用电化学保护措施

电化学保护措施是有效解决油气集输管道中电化学腐蚀问题的核心手段。无论在海洋环境还是陆地环境的油气集输管道中，电化学腐蚀是腐蚀问题中最主要的一项。在对电化学腐蚀进行分析的过程中发现，金属的电极行为取决于它的电极电位。针对电化学腐蚀问题，均可以采用电化学保护措施来进行调整改善。

围绕电化学保护的具体类型来看，可以分为阳极保护和阴极保护两种类型，根据海洋环境油气集输管

道的实际情况来看，想要实现对管道的有效保护主要采用外加电流阴极保护法。

根据电化学腐蚀的原理能够明确，腐蚀电池的阴极是不会被腐蚀的，阳极则会遭到腐蚀。在对上述原理有充分的认识后，为实现对电化学保护措施的合理利用，可以通过使用外加电流让需要保护的金属变为阴极，借助电化学腐蚀的原则来强化保护效果，该保护方法则被称为阴极保护。

结合前文提到的油气集输管道表面处理中的涂层保护措施来看，该项措施在油气集输管道建设中的使用频率较高，但同时应当考虑到海洋环境的特殊性。在海水不断对管道涂层进行反复冲刷的情况下，涂层的保护效果会受到影响，加上涂层本身可能因为涂刷不到位出现漏敷情况，进而引发管道腐蚀问题。为实现对油气集输管道的有效保护，有必要综合运用涂层和阴极保护两种措施，借此有效强化油气集输管道的防腐效果。

3.3 结合需求使用专用的缓蚀剂

随着我国科学技术的持续发展，在油气集输管道的建设安排上，可以结合海洋环境的特点和各个位置油气集输管道在运行过程中可能受到的影响进行综合考虑，保证能够结合需求使用专用的缓蚀剂，提升缓蚀剂选择的科学性。在海洋环境下的油气集输管道运行过程中，油、气、水并存这一特征显著，在缓蚀剂的选择上必须充分考虑到该特征，确保缓蚀剂无气泡、乳化倾向，借此保证油、气、水三相分离的成本和难度能够得到有效控制。

针对深海位置温度相对较低的情况，缓蚀剂需要具有较强的流动性，并且需要兼具不易沉积的优势特点，以免在油气集输管道运行过程中出现堵塞情况。结合现阶段我国环境保护事业持续发展的现实背景，我国对各个行业领域环境保护都有较高的工作要求，在海上油气事业上自然也不例外，面对环境保护方面的要求，在选择缓蚀剂时必须保证其具有无毒、易降解的特点。针对油气混输的情况，在缓蚀剂的使用上需要与防冻剂进行有效结合，借此合理规避缓蚀剂水相腐蚀问题。

3.4 优化油气集输管道设计方案

面对油气集输管道在海洋环境中可能受到的影响，必须在设计阶段便做好考虑，针对常见问题进行合理规避，以免影响到管道输送网络的运行安全。针对提到的缝隙腐蚀问题，该问题与管道材料连接、管道材料选择存在直接联系。基于缝隙腐蚀问题的相关分析，在油气集输管道设计方案中，应尽量保证管道材料的长度，减少管道沿线的接头数量，高度重视管

道材料连接位置可能存在的分析，禁止使用两种不同的金属材料管件进行连接，借此保证油气集输管道的整体性，将缝隙腐蚀等常见腐蚀问题的发生率控制到最小。所有用于油气集输管道建设的材料、配件都需要经过严格、全面的检查，以免因为材料本身的问题导致油气集输管道的运行状态出现问题。

4 结语

综上所述，我国海上石油产业正在持续发展，渤海、黄海以及南海等位置都已经成为我国海洋石油发展的重点区域。为保证海上石油产业的发展情况能够长期保持在健康、稳定的状态，有必要做好管道防腐工作，加强对油气集输管道的防护，针对现阶段油气集输管道的常见问题做好梳理，坚持以问题为重要基础，从实际出发解决问题的原则，保证能够做好油气集输管道的防护策略安排，强化管道运输网络运行的稳定性，助力我国海洋石油的发展。

参考文献：

- [1] 李俊莉,路建萍,张颖,等.油气集输管道腐蚀与防护技术研究进展[J].应用化工,2024,53(09):2231-2236.2024.09.041.
- [2] 郭晶利,梁彦章,韩海红,等.油气集输管道腐蚀及防护对策的研究进展[J].化工技术与开发,2024,53(Z1):49-52.
- [3] 郑鑫.油气集输管道内腐蚀及内防腐技术研究[J].全面腐蚀控制,2023,37(05):128-129+132.2023.05.128.02.
- [4] 舒小桥.油气集输管道在海洋环境中的腐蚀与防护[J].石油化工建设,2021,43(06):119-120.2021.06.056.
- [5] 金广军,谢仕洪.油气集输管道腐蚀结垢与防护措施[J].化学工程与装备,2021,(06):66+75.2021.06.031.
- [6] 马哲文.油气集输管道腐蚀结垢防护技术[J].化学工程与装备,2020,(03):131+117.2020.03.060.
- [7] 林影炼.油气集输管道在海洋环境中的腐蚀与防护[J].中国石油和化工标准与质量,2012,32(7):265.
- [8] 丁浩,石仁庆.油气集输管道在海洋环境中的腐蚀与防护[J].城市建设理论研究(电子版),2013(24).
- [9] 鞠虹,王君,唐晓,等.油气集输管道在海洋环境中的腐蚀与防护[J].石油化工设备,2010,39(5):41-48.
- [10] 张旭,刘卫华,戴茜,等.海洋环境中油气集输管道的腐蚀与防护[J].能源与环保,2018,40(1):87-90.
- [11] 黄楚雄.海洋油气管道腐蚀的影响及对策[J].当代化工研究,2024(8):105-107.
- [12] 韩笑.海洋油气管道腐蚀的影响及防护技术研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(3):195-198,204.
- [13] 夏雪.腐蚀海底管道的可靠性评估[D].黑龙江:哈尔滨工程大学,2009.