

海洋油气管道腐蚀的影响及对策

孙 昊 (中海石油(中国)有限公司秦皇岛 32-6 作业公司, 天津 300450)

摘要: 海洋油气管道的腐蚀问题对全球能源安全、环境保护及经济可持续发展构成重大威胁。本文深入探讨了腐蚀对管道结构安全、海洋生态及人类社会的深远影响, 并提出了基于先进材料、技术创新与智能化管理的综合防腐策略, 旨在提升管道耐腐蚀性能, 保障海洋油气资源的安全高效开发。

关键词: 油气管道; 腐蚀; 影响; 策略

海洋油气管道作为连接海底油气井与陆上处理设施的“生命线”, 其安全稳定运行对于保障全球能源供应具有重要意义。但是由于其自身原因, 其防腐问题一直是影响管道正常运行的重要因素。腐蚀不但导致管道构件的力学性能下降、渗漏危险增大, 而且还会对海洋环境产生持久的危害, 严重威胁着人类的可持续发展。因此, 开展海底油气管道的腐蚀机理研究, 探寻高效的防护措施, 是保证海上油气管道安全和稳定的关键^[1]。

1 腐蚀的深远影响

1.1 管道结构安全受损

海洋油气管道的腐蚀现象, 是一个不容忽视的安全隐患, 它深刻影响着管道的结构安全。随着管道的逐渐腐蚀, 管壁厚度逐渐变细, 虽然其发展速度较慢, 但当其积累到某个临界值时, 其结构强度将明显下降。当管道受到外部和内部的压力作用时, 其断裂危险会大大提高。尤其是在海底高压下, 如果管道断裂, 将会造成严重后果。而且, 这种腐蚀并不只局限于管壁厚度减薄。

同时, 在钢管的外表及内部也会产生诸如变形、裂纹等不同的结构性缺陷。上述问题的出现, 将导致管道的承载力下降, 从而导致管道在面对复杂变化的海上环境时更为易受损伤。比如, 在一次海底油气天然气管道泄露事故中, 经过对事故进行分析, 得出了由腐蚀引起的裂缝是事故发生的主要因素。该工程实例表明, 管道的防腐问题对其系统安全性构成了诸多隐患, 并造成严重后果。

另外, 腐蚀也会造成管道接头的松弛和破坏, 从而增大管道失稳。由于这些不稳定特性, 导致管道在运行时更易遭受波浪和海流等外界环境扰动, 进而导致管道破坏。所以, 海底油气天然气管道的防腐问题, 不但影响到管道本身的使用寿命与安全, 而且还影响着管道的正常运行与环保^[2]。

1.2 海洋生态面临威胁

海洋油气管道的腐蚀问题, 一旦引发泄漏, 将对海洋生态系统构成严峻挑战。原油泄露后, 油气和天然气将以极快的速度向周边水域蔓延, 对整个海洋环境造成严重影响。油气和天然气中挥发性有机化合物(如苯、甲苯等)和重金属等对海洋生态系统造成危害。它们可以渗入到生物体中, 干扰生物体的正常生理活动, 严重时可能造成生物体致死。例如, 在一次海底油气和天然气泄露事件中, 油气和天然气很快就造成了一大片水域的污染, 并造成了这一地区海洋生物灭绝。根据事故数据, 在受灾区域, 鱼类和贝类等生物的生存能力显著降低, 生物多样性显著降低。该事故发生, 不但使该海域的鱼类遭受重大的经济损失, 而且还将对该海域的生态平衡产生深远冲击。

更重要的是, 这些灾害会引起生物链断裂, 生物种群迁徙等一系列的连锁效应, 使其更加脆弱。从深层意义上讲, 海底油气天然气管道的腐蚀问题, 不但会对海洋生态造成直接危害, 而且还会危及到人们的健康和生活。由于海洋是世界上最重要的生物支撑体系, 因此, 它的正常状态对人们的生活质量有着重要的影响。为此, 我们要充分意识到这一问题的严峻性, 并针对这一问题提出相应的对策。

1.3 人类社会承受损失

海洋油气管道的腐蚀问题, 其对人类社会的影响远不止于油气资源的浪费。当管道发生腐蚀泄露时, 其所产生的气体和液体不但可能引发火灾爆炸等重大安全事件, 对人民群众的人身和财产造成严重的危害, 而且还可能造成重大的社会后果。油气天然气管道泄露引发的重大安全事件层出不穷, 给人民群众带来了极大的生命和经济损失, 也给人们带来了无法抹去的心理阴影。

另外, 油气泄露对沿岸区域的经济冲击也不可忽视。例如一起海上油气和天然气泄露事件, 泄露的油

气和天然气污染了广大水域，造成了严重的渔业损失，迫使渔民不得不抛弃传统的捕捞方式，另谋生路。

此外，漏油事故还对沿岸的旅游造成了很大的冲击，导致旅客人数急剧减少，旅游收益急剧下滑。这种产业萎缩，不但直接关系到本地人的工作与生活，而且会给地方的社会发展带来很大的负面效应。从宏观上讲，海上油气天然气管道的腐蚀问题本质上是人为因素造成的。生态系统的退化不但危及到了人们的生活，而且还会引起资源耗竭和生态失衡等一系列的连锁效应，给人类的可持续发展带来巨大的挑战。为此，我们要充分意识到这一问题的严峻，积极地进行预防与处理，才能真正维护人类的生存环境^[3]。

2 综合防腐策略的探索与实践

2.1 先进材料的应用

在应对海洋油气管道腐蚀问题上，先进材料的应用已成为一种行之有效的策略。经过长期的摸索和试验，我们已经找到了双相不锈钢和镍基合金等高强度抗腐蚀合金，可以有效地提高管道的耐腐蚀性能。由于具有良好的耐腐蚀性，在高盐度高湿度的海水中，具有良好的耐腐蚀性。更重要的是，最近几年出现的一些新材料如纳米复合材料、生物缓蚀剂等，给海底油气管道的防腐工作带来了新的希望。利用其特殊微纳结构，提高耐蚀涂料的粘附性及长效性，延长其在海水中的使用寿命。然而，生物缓蚀剂是通过微生物自身的自然防护机理，例如微生物的新陈代谢等，来达到对管道进行高效防护的目的。

在实践中，这种新功能化材料已获得明显效果。针对我国海上油气田的实际情况，提出了一种新型的以双相不锈钢为主体，并配以新型纳米复合防腐涂料进行防腐。运行多年后发现，与常规材质相比，钢管的锈蚀率显著降低，镀层也没有显著的剥落和老化。该工程实例表明，新技术对海上油气和天然气管道的防腐具有重大意义。更重要的是，这种新防护技术不能单独使用，必须与其他防护手段联合使用，才能构成一种完整的防护策略。因此，在管道的设计中，应充分重视材料选用、涂料以及防腐防护的综合应用，才能保证管道在使用过程中的安全性^[4]。

2.2 技术创新与智能化管理

在海洋油气管道防腐防控领域，技术创新与智能化管理的融合正成为提升防腐效能的关键。利用物联网和大数据等先进的信息处理手段，可以对管道的腐蚀状况进行实时监控。该方法可以实时掌握管道运行

状态下的细微变化，并对其进行有效的监测和预警，为管道维修与管理工作的奠定基础。

在运行过程中，为了保证管道的安全运行，必须对其进行周期性的检查和维修。研究人员运用超声波、漏磁场等非破坏性测试手段，对管道进行全方位、精确检测。该方法不但可以实现对钢筋锈蚀位置的准确识别，而且可以对钢筋锈蚀情况进行评价，从而为养护管理方案的制定提供理论基础。以某海上油田为例，利用超声探测方法，研究人员成功地探测到了一种可能的腐蚀危险，并对其进行了维修，从而使安全生产得到了很好的控制。

在此基础上，国外的许多企业也在研究如何利用人工智能的方法对管道腐蚀数据进行分析和处理。该方法可以通过对管道的锈蚀变化进行分析，并对其将来的发展方向进行预报，以便及早制订检修方案，减少检修费用，提高运行效益。这样的智能化管理，既可以有效地提升管道防腐效果，又可以为海上油气田的可持续发展提供新动力。同时指出，科技与智能管理结合不是一朝一夕之功，还需不断地进行投资和摸索。为了满足海上油气天然气管道防腐工作的要求，必须在实践中不断地进行实践和探索。在此基础上，要强化企业的内部治理，保证各种防护手段的落实，才能使海上油气天然气管道的防腐工作继续向前发展^[5]。

2.3 多层防腐体系的构建

在海洋油气管道的防腐策略中，多层防腐体系的构建已成为一种被广泛采纳且行之有效的做法。经过多年研究和试验，已经在管道的内壁上涂覆了一层环氧树脂（FBE）、三层PE（3PE）等高效防腐涂料，能够将腐蚀介质与钢管主体之间的直接接触，从而构成了一道坚固的防腐壁垒。该多层次防腐系统是针对复杂多变的海洋环境及强腐蚀特点而进行的。FBE具有良好的粘附性、抗化学腐蚀性，已逐渐成为钢管内壁防腐的第一选择。既可抵御油气、天然气等各种腐蚀介质的侵蚀，又可避免由于流体在管壁上的冲刷作用。3PE由于其优异的力学、耐老化等特点，已被广泛应用于钢管的外壁防腐。该产品可防止海洋腐蚀及紫外光照射，起到防止外部环境对管道的破坏作用。

实践证明，多层次复合防腐系统已收到明显效果。以我国一个大型海上油气田为研究对象，将FBE与3PE复合防腐技术应用于管道施工中。运行几年后，

发现该管道的锈蚀速度比预计缓慢，而镀层也没有显著的老化和剥落。该工程实例表明，复合涂层系统对海上油气天然气管道的防护具有重大意义。同时，国内外研究工作者也在积极开发新型的防腐蚀材料及涂料，以提升其综合防护能力。比如，开发了一系列耐腐蚀、附着力强、力学性能优异的新聚合物和涂层，将会是今后管道防腐的新方向。不断地进行改革和研究，既能促进管道防腐的发展，又能保证海上油气管道的可持续发展^[6]。

2.4 焊接与施工质量控制

在海洋油气管道的防腐策略中，焊接与施工质量控制是确保管道整体防腐性能的关键环节。通过对焊接技术进行改进，以及做强化施工监理等方面的研究，使我国在今后发展中取得了较好的效果。在焊接过程中，通过对焊接过程进行改进，使用全自动焊接装置，降低了由人为引起的各种缺陷。

自动焊接装备具有精确控制、工作稳定性好等优点，可以有效地改善焊缝质量，减少焊缝缺陷。该方法既能保证钢管的强度、密封性能，又能为以后的防腐蚀打下良好的基础。在工程监理和质量管理上，强化了防腐涂层的施工质量管理。在此基础上，提出了一套完善的工程技术规程，保证防腐钢管防腐涂层的施工质量达到设计要求。

在工程建设中，运用现代测试手段和仪器，对涂层的厚度、附着力、完整性等进行全方位检查，并对工程中出现的问题进行及时修正。以一个大型海上油气田为实例，介绍在管道施工中应用全自动焊机，并对其进行严格质量管理。几年运行表明，该管道的腐蚀速度比预计要低，没有发生由于焊缝和防腐涂层的质量问题而引起的腐蚀事件。该工程实例表明，通过对海上油气天然气管道的保护，应通过合理焊接技术、严格施工过程进行质量管理。需要指出，焊接和结构的质量管理不能单独进行，必须和其他的防护手段联合起来，才能构成一种完整的防护战略。

2.5 环境友好型防腐技术的发展

在海洋油气管道的防腐策略中，环境友好型防腐技术的发展正逐渐成为行业关注的重点。为了减轻海洋污染，提高海底管道的环境保护能力，国内外学者和工程技术工作者正在积极开展绿色防腐涂料和生物防腐技术等方面的研究。由于其具有较少的挥发性有机化合物（VOC）及优良的耐腐蚀性，已逐渐被人们所重视。这种涂层既可对各种有害物质进行高效的隔

绝，又可降低其对海洋环境的危害。在实践中，部分企业已采用水性涂料、粉末涂料等环境友好型涂料，并获得较好的防腐蚀性能。

同时，微生物防腐剂也显示出了很大的发展前景。研究表明，在海洋环境中，微生物是一类重要的海洋环境污染物质，其主要成分是海洋环境中的微生物。该工艺既有环境友好的优点，又可在钢管外壁生成一层保护涂层，增强防腐性能。结合海上油气田的实际情况，提出了一种新型的“绿色防腐蚀涂层”与“生物防腐蚀”相结合的方法。他们先把管道清理干净，再用水基环保漆喷涂。

此外，他们还采用了一种特殊的微生物技术，使其在管道外表生成一种高密度生物薄膜。实际运行表明，与常规防腐蚀方法相比，这类管道的侵蚀速度显著降低，而且没有对周围海域产生不利影响。该工程实例表明，环保型防腐蚀工艺对海上油气天然气管道的防腐蚀具有重大意义。

3 总语

综上所述，海洋油气管道的腐蚀问题对管道结构安全、海洋生态及人类社会构成了严重威胁。本文深入分析了腐蚀的深远影响，并提出了基于先进材料、技术创新与智能化管理的综合防腐策略。通过实施这些策略，我们可以有效提升管道的耐腐蚀性能，保障海洋油气资源的安全高效开发。未来，随着材料科学、信息技术及环保理念的不断发展，我们有理由相信，海洋油气管道的防腐技术将更加智能化、绿色化，为实现全球能源安全与可持续发展目标贡献力量。

参考文献：

- [1] 梁晓燕. 油气输送管道防腐技术的现状与应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(13): 175-177.
- [2] 王栋, 邹亚飞, 耿慧晶. 基于灰色系统理论的油气管道腐蚀速率预测 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(06): 162-167.
- [3] 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, (08): 105-107.
- [4] 韩雪. 关于海洋管道外防腐层检测技术现状研究 [J]. 清洗世界, 2023, 39(07): 99-101.
- [5] 李蕾. 海底多相流管道 CO₂ 内腐蚀速率预测研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2023.
- [6] 杨赛星. 海洋大气环境下架空管道的外腐蚀深度预测研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2023.