

海洋石油海底管道面临的内腐蚀风险及对策

穆佳庆

中海石油(中国)有限公司深圳分公司 广东 深圳 518000

摘要: 海洋石油海底管道面临的内腐蚀风险主要包括 CO_2 腐蚀、 H_2S 腐蚀、微生物腐蚀、垢下腐蚀、冲刷腐蚀和顶部腐蚀等。这些腐蚀主要由油气中的腐蚀性组分、沉积物、微生物活动等因素引起,对管道的安全运行构成严重威胁。对策包括合理选材、药剂保护、微生物控制、清管作业、工艺优化和焊缝质量管理等。通过综合应用这些对策,可以有效降低管道腐蚀速率,延长管道使用寿命,保障海底管道的安全运行。

关键词: 海洋石油海底管道; 面临内腐蚀风险; 对策

引言: 海洋石油海底管道是连接海底油气井与陆地处理设施的生命线,其安全稳定运行至关重要。然而,由于海底环境的复杂性和油气介质的腐蚀性,海底管道面临着严重的内腐蚀风险。这种腐蚀不仅会降低管道的输送效率,还可能引发泄漏等安全事故,对海洋生态和人类安全构成威胁。因此,深入研究海底管道内腐蚀风险,制定有效的防护对策,对于保障管道安全具有重要意义。

1 海洋石油海底管道内腐蚀风险分析

1.1 内腐蚀的主要类型

海底石油管道的内腐蚀问题一直是海洋油气开采过程中的重要挑战。这些腐蚀问题不仅会降低管道的输送效率,还可能引发严重的安全事故。了解并识别各种内腐蚀类型,对于制定有效的防护策略至关重要。(1) CO_2 腐蚀。 CO_2 腐蚀是海底管道中最常见的腐蚀类型之一。当管道内存在游离态水时, CO_2 会溶入水生成碳酸,对低碳钢等管材造成腐蚀。这种腐蚀通常表现为局部点蚀、蕈状腐蚀和台面状腐蚀,其中台面状腐蚀最为严重。 CO_2 腐蚀速率受温度、水分、 CO_2 分压、流速、合金元素、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等多种因素影响。特别是当海水的pH值较低时, CO_2 的腐蚀速率会显著增加。

(2) H_2S 腐蚀。 H_2S 是油气水混输介质中含有的酸性气体,它具有较强的腐蚀性。 H_2S 腐蚀通常表现为点蚀,且其腐蚀速率随 H_2S 浓度的变化而变化,主要受输送介质的含水量和相应的腐蚀产物影响。当 H_2S 溶于水时,会呈酸性,导致管壁减薄或局部点蚀穿孔。此外, H_2S 还能引起硫化氢应力开裂(SSC)和氢致开裂(HIC),对管道的安全运行构成严重威胁^[1]。(3) 微生物腐蚀。微生物腐蚀主要是由细菌类微生物引起的。这些微生物能够直接参与自然界的硫、铁循环,从而导致或促进材料腐蚀破坏。在海底管道中,硫酸盐还原菌(SRB)是最常见的

腐蚀微生物。它们能够在缺氧条件下生存,通过还原硫酸盐产生硫化氢,从而加速管道的腐蚀过程。(4) 垢下腐蚀。垢下腐蚀是由于管道物流中携带淤泥、砂和固体颗粒形成沉积物而引起的。这些沉积物在与 CO_2 、 H_2S 、微生物等综合作用下,会形成“大阴极、小阳极”的电偶效应,引发严重的点蚀。垢下腐蚀的破坏性极大,且难以检测和修复。(5) 冲刷腐蚀。冲刷腐蚀是由于多相流体的力学作用导致金属表面材料的损伤和减薄。当流体高速运动时,会破坏金属表面的保护膜或腐蚀产物膜,加速腐蚀过程。如果流体中含有固相颗粒,冲刷腐蚀会更为严重。冲刷腐蚀通常发生在管道弯头、三通等流速变化较大的部位。(6) 焊缝腐蚀。焊缝腐蚀是由于焊接过程中产生的缺陷或应力集中而引起的。在海底管道中,焊缝是腐蚀的敏感部位之一。由于焊接质量、焊接材料等因素的影响,焊缝区域的腐蚀速率往往高于管道其他部位。焊缝腐蚀不仅会降低管道的承载能力,还可能引发泄漏等安全事故。

1.2 内腐蚀的影响因素

(1) 介质组分。介质组分是影响海底管道内腐蚀的重要因素之一。其中, CO_2 、 H_2S 、水分、盐类等物质的含量和比例对腐蚀速率有直接影响。例如,高浓度的 CO_2 和 H_2S 会加速管道的腐蚀过程;而水分和盐类的存在则会促进电化学腐蚀的发生。(2) 温度与压力。温度和压力也是影响海底管道内腐蚀的重要因素。一般来说,随着温度的升高和压力的增加,腐蚀速率会加快。这是因为高温高压条件下,化学反应和电化学腐蚀的速率都会增加。(3) 流速与流体状态。流速和流体状态对海底管道内腐蚀的影响不容忽视。流速的增加会加速腐蚀介质到达管壁表面的速度,同时也会增加腐蚀产物离开金属表面的速度。这种变化会导致缓蚀剂不能充分到达管道表面而影响其发挥作用,从而加快腐蚀速率。此外,

流体的湍流状态也会破坏金属表面的保护膜,加剧腐蚀过程。(4)管材与焊接质量。管材的化学成分、组织结构以及焊接质量直接影响海底管道的抗腐蚀性能。高碳钢、低合金钢等材质在特定的腐蚀环境中容易遭受严重的腐蚀攻击。同时,焊接过程中产生的热影响区、焊缝缺陷等也是腐蚀的敏感点。如果焊接质量不高,焊缝处容易出现裂纹、夹渣等缺陷,这些缺陷会加剧管道的腐蚀速率^[2]。(5)微生物活动。微生物活动是导致海底管道内腐蚀不可忽视的因素。硫酸盐还原菌等腐蚀微生物能够附着在管道表面,通过代谢活动产生腐蚀性的硫化氢,加速管道的腐蚀过程。微生物腐蚀通常发生在流速较低、沉积物较多的管道部位。(6)沉积物与结垢。沉积物与结垢会改变管道内壁的流体力学特性,增加管道内壁的粗糙度,为腐蚀介质提供滞留和浓缩的条件。同时,沉积物中的有害物质(如氯离子、硫酸根离子等)会加速管道的腐蚀过程。垢下腐蚀是沉积物与结垢引起的典型腐蚀类型,它会导致管道壁迅速减薄,甚至穿孔。

1.3 内腐蚀风险评估方法

为了有效地评估海底管道的内腐蚀风险,需要采用多种方法和手段进行综合分析。(1)数据收集与分析。首先,需要收集管道运行过程中的相关数据,包括介质组分、温度、压力、流速等参数。然后,对这些数据进行分析,了解管道运行工况和腐蚀环境。通过对比历史数据和当前数据,可以发现腐蚀趋势和规律,为后续的腐蚀风险评估提供基础。(2)多相流模型与腐蚀评估模型。利用多相流模型可以模拟管道内流体的流动状态,预测流体对管道内壁的冲刷作用和沉积物的形成情况。同时,结合腐蚀评估模型可以估算管道的腐蚀速率和剩余寿命。这些模型可以帮助我们深入了解管道内部的腐蚀机制,为制定有效的防护措施提供依据。(3)腐蚀预测软件的应用。随着计算机技术的不断发展,腐蚀预测软件在海底管道内腐蚀风险评估中得到了广泛应用。这些软件可以根据管道的运行工况和腐蚀环境,预测管道的腐蚀速率、腐蚀形态以及剩余寿命等参数。通过对比不同条件下的预测结果,可以评估不同防护措施的效果,为优化防腐方案提供指导。(4)室内腐蚀模拟试验。室内腐蚀模拟试验是评估海底管道内腐蚀风险的另一种重要手段。通过模拟管道的实际运行工况和腐蚀环境,可以观察和研究管道内壁的腐蚀过程和特征。这种方法可以直观地反映管道的腐蚀情况,为制定针对性的防护措施提供实验依据。同时,通过对比不同材料和防护措施在试验中的表现,可以筛选出最优的防腐方案。

2 海洋石油海底管道内腐蚀防护对策

2.1 合理选材与设计

(1)选择抗腐蚀性强的管材与焊接材料。在海底管道的建设过程中,管材的选择是首要考虑的因素。针对海底环境的特殊性,应选用具有优异抗腐蚀性能的管材,如不锈钢、钛合金、双相不锈钢以及高合金钢等。这些材料不仅具有高强度和韧性,还能在恶劣的腐蚀环境中保持稳定的性能。同时,焊接材料的选择也至关重要,应确保其与管材的化学成分和力学性能相匹配,以减少焊缝处的腐蚀风险。(2)优化管道设计,避免腐蚀敏感位置。管道设计是防止内腐蚀的关键环节。在设计过程中,应充分考虑介质的流速、压力、温度以及管道布局等因素,避免形成腐蚀敏感位置。例如,通过合理设置管道支撑和固定装置,减少流体在管道内的湍流和涡流,从而降低腐蚀速率。此外,还应关注管道焊缝、三通、弯头等部位的细节设计,通过增加壁厚、采用圆角过渡等措施,提高这些部位的抗腐蚀能力。

2.2 药剂保护与缓蚀剂应用

(1)利用缓蚀剂在材料表面形成保护膜。缓蚀剂是一种能够有效抑制金属腐蚀的化学物质。在海底管道内添加适量的缓蚀剂,可以在金属表面形成一层致密的保护膜,阻碍腐蚀介质与金属的直接接触,从而降低腐蚀速率。缓蚀剂的选择应根据管道的腐蚀环境和介质成分进行,同时还需要考虑其经济性和环保性。在使用过程中,应定期检测缓蚀剂的效果,并根据实际情况进行调整和优化。(2)选择合适的杀菌剂控制微生物繁殖。微生物腐蚀是海底管道内腐蚀的一种重要形式。为了控制微生物的繁殖,可以选择合适的杀菌剂进行投加。杀菌剂应能够迅速杀灭或抑制管道内的微生物,同时不会对管道材料和输送介质造成不良影响。在使用过程中,应定期检测微生物的数量和种类,并根据检测结果调整杀菌剂的投加量和种类^[3]。

2.3 清管作业与工艺优化

(1)定期进行清管作业,清除积蜡、积液、污垢及锈蚀物。清管作业是保持海底管道畅通和清洁的重要手段。通过定期进行清管作业,可以清除管道内的积蜡、积液、污垢以及锈蚀物等杂质,减少腐蚀介质在管道内的滞留时间,从而降低腐蚀风险。清管作业的频率应根据管道的实际情况和介质成分进行确定,同时还需要考虑清管作业对管道运行的影响。(2)提高流速,增强物流携砂能力,控制温度。在管道运行过程中,可以通过提高流速来增强物流的携砂能力,从而降低沉积物在管道内的滞留时间。同时,还可以通过控制管道的温度来减缓腐蚀速率。一般来说,适当的温度可以提高缓蚀剂

的效果,但过高的温度则可能加速腐蚀过程。因此,在管道设计和运行过程中,应综合考虑各种因素,以确定最佳的运行参数。

2.4 监测与检测技术

(1) 应用在线监测技术实时监测管道腐蚀状况。在线监测技术是一种能够实时监测管道腐蚀状况的有效手段。通过在管道上安装传感器和监测设备,可以实时监测管道内壁的腐蚀速率、腐蚀形态以及腐蚀产物的变化。这些数据可以为管道的维护和管理提供重要的参考依据。在线监测技术的应用还需考虑其准确性和可靠性。因此,在选择监测设备时,应优先选择具有高精度和稳定性能的设备,并定期对监测数据进行校验和验证。同时,还需建立完善的监测数据分析体系,对监测数据进行深入的分析和挖掘,以便及时发现和处理潜在的腐蚀问题。(2) 定期进行管道检测,评估管道完整性。除了在线监测外,定期进行管道检测也是评估管道完整性的重要手段。可以采用超声波检测、漏磁检测、涡流检测等无损检测技术对管道进行检测。这些技术能够准确检测管道内部的缺陷和腐蚀情况,为管道的维护和管理提供科学依据。在进行管道检测时,应根据管道的实际情况和检测要求选择合适的检测技术。同时,还需建立完善的检测数据管理体系,对检测数据进行整理和归档,以便后续的分析 and 评估。通过对检测数据的分析,可以及时发现管道的腐蚀问题和安全隐患,并采取相应的措施进行处理。

2.5 应急响应与安全管理

(1) 制定应急预案,确保在腐蚀泄漏等事故发生时能够迅速响应。应急预案是应对海底管道腐蚀泄漏等事故的重要手段。应急预案的制定应基于风险评估的结果,并充分考虑管道的特殊性以及可能的事故情景。应急预案应明确应急响应的流程、责任分工、救援措施以及后续处理方案。同时,还需定期组织应急演练,提高员工的应急响应能力和效率。在应急预案中,应特别关注腐蚀泄漏事故的应急处理。一旦发生腐蚀泄漏事故,

应立即启动应急预案,组织专业救援队伍进行紧急处理。同时,还需及时与相关部门进行沟通和协调,确保救援工作的顺利进行。在处理过程中,应优先考虑人员的安全,避免事故扩大和环境污染。(2) 加强安全管理,提高员工安全意识与操作技能。安全管理是防止海底管道内腐蚀的重要保障。企业应加强安全管理制度的建设和执行力度,明确各级人员的安全职责和操作规程。同时,还需加强员工的安全教育培训和技能提升工作。培训内容应包括海底管道的内腐蚀机理、防腐蚀措施、应急预案等方面。通过培训和教育,提高员工的安全意识和操作技能水平,使其能够充分了解并掌握防腐蚀知识和技能。此外,企业还应建立完善的安全考核机制,对员工的安全表现进行定期评估和考核。对于表现优秀的员工应给予奖励和表彰;对于违反安全规定的员工应给予相应的处罚和纠正措施。通过考核机制的建立和执行,可以激励员工积极参与防腐蚀工作,提高管道的安全管理水平。

结束语

综上所述,海洋石油海底管道的内腐蚀风险不容忽视,它直接关系到管道的安全运行和海洋环境的保护。通过合理选材、优化设计与工艺、应用药剂保护与缓蚀剂、加强清管作业与监测检测,以及制定应急响应和安全管理措施,可以有效降低内腐蚀风险,延长管道使用寿命。未来,随着技术的进步和经验的积累,我们将能更好地应对这些挑战,确保海底管道的安全、高效运行。

参考文献

- [1]焦卫东,张耀宗,张清.CO₂/H₂S对油气管材的腐蚀规律[J].化工机械,2018,(14):250-253.
- [2]胡鹏飞,文九巴,李全安.国内外油气管道腐蚀及防护技术研究现状及进展[J].河南科技大学学报,2019,(12):100-101.
- [3]樊荣兴,闫化云,仇朝军等.海洋石油海底管道面临的内腐蚀风险及对策[J].全面腐蚀控制,2019,(12):102-107.