

油气储运中的管道腐蚀成因分析及防护措施

仇祥平

新疆新捷燃气有限责任公司 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 834000

DOI: 10.12238/jpm.v5i6.6921

[摘要] 近年来,随着我国能源消费需求的不断增长,油气储运管道在国民经济和人民生活发挥着越来越重要的作用。但是,长期运营的油气储运管道由于受到各种外界环境因素的影响,容易发生管道腐蚀问题,给油气储运工作带来巨大隐患和经济损失。管道腐蚀一旦发生,不仅会导致管道破损泄漏,给油气储运企业和社会造成重大安全隐患和经济损失,也可能对周边环境和人员健康产生不利影响。

[关键词] 油气储运;管道腐蚀成因;灰色理论;有效预测

Analysis and protective measures of pipeline corrosion in oil and gas storage and transportation

Qiu Xiangping

Xinjiang Xinjie Gas Co., LTD., Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 834000

[Abstract] In recent years, with the continuous growth of China's energy consumption demand, oil and gas storage and transportation pipelines are playing an increasingly important role in the national economy and people's life. However, due to the influence of various external environmental factors, the long-term operating oil and gas storage and transportation pipeline is prone to pipeline corrosion problems, which brings great hidden dangers and economic losses to the oil and gas storage and transportation work. Once pipeline corrosion occurs, it will not only lead to pipeline damage and leakage, cause major safety risks and economic losses to oil and gas storage and transportation enterprises and society, but also have adverse effects on the surrounding environment and the health of personnel.

[Key words] oil and gas storage and transportation; cause of pipeline corrosion; grey theory; effective prediction

引言:

本文将通过分析油气储运管道常见的腐蚀成因,同时提出了相应的防腐措施,如采用合理的管材和防护技术、开展定期管道检修等,以期降低管道腐蚀的风险,保障油气安全可靠输送。通过对管道腐蚀问题的深入研究与防治,期望为我国能源安全体系建设提供参考,促进油气行业更加可持续发展。

1 油气储运管道腐蚀的发生成因研究

1.1 管道问题

油气管道腐蚀问题是一个系统工程问题,其产生不仅与单一因素相关,而是多方面的影响叠加结果。从根本原因来看,管道制作材料的选择和质量是问题的重中之重。部分企业在管道材料选择和质量把关上存在不足,导致管道内部杂质多,为后期腐蚀埋下隐患。此外,管道在设计施工阶段,如未全面考虑输送物质特性,以及施工技术水平不够等问题,也会影响管道的使用寿命。与此同时,油气管道作为一种特殊结构,其安装过程的难点也不容忽视。如若施工技术应用不成熟,易产生

误差。安装时的物理磕碰也可能引起连接问题。而一些企业在安装后管道防腐处理上,防腐措施设计和操作执行均存在不足,未能有效防止腐蚀发生。总之,油气管道腐蚀问题的形成是一个系统的过程,涉及管道材料质量控制、设计施工技术水平、安装质量,以及后期防腐措施等多个环节。只有从各个关键环节着手,同时加强各部门协作,采取全面有效的对策,才能真正解决油气管道长期运营中的腐蚀问题,保障能源安全。

1.2 油气性质问题

油气管道腐蚀问题的产生,与油气本身的物理化学性质有着密切关系。一些油气资源中含有的腐蚀性物质,例如硫化氢、二氧化碳和二氧化硫等,它们本身就具有强酸性。在管道储运过程中,这些腐蚀性物质会与管道材质发生化学反应,从而导致不同程度的管道腐蚀。其中,富含这类腐蚀性物质的油气资源,其腐蚀影响尤为显著。此外,不同油气资源在温度、压力等物理条件下,其腐蚀性也会有差异。例如高温高压条件下,腐蚀速度会更快。而管道本身材质选择如果不能很好适应不同

油气的化学性质，也会加剧腐蚀。所以，要真正解决该问题，需要对不同油气资源进行详细成分分析，了解其腐蚀规律。同时在管道设计施工阶段，需要根据油气种类选择最佳材质，并采取有效的防腐措施。只有结合油气本身特点，才能从源头上解决管道长期运营中的腐蚀隐患。

1.3 外界因素问题

外界环境因素对油气管道腐蚀问题的影响是非常复杂的。首先，不同季节和地域的气候条件，如温度、湿度等，都会影响管道表面环境和内部介质的物理化学性质，从而影响腐蚀速度。例如高温环境下，腐蚀更易发生。其次，土壤类型和地下水质量也是重要影响因素。若土壤酸碱度不佳或含有腐蚀性物质浸润管道，也会加速腐蚀。另在油气管道运行过程中，由于环境条件和管道使用维护等因素的不确定性，会导致管道表面产生一些杂散电流。这些杂散电流的存在会给油气管道带来一定的腐蚀风险。此外，施工质量如防腐保护措施不足，或管道使用过程中外界环境污染，也会影响管道的腐蚀状况。而隧道和桥梁下的管道，受环境限制，维护更难，腐蚀问题也更突出。而随着气候变暖，环境温度的升高也会使腐蚀问题进一步加剧。所以，为了防止外界影响，需要在管道选择、施工和使用过程中，全面评估不同环境条件下的腐蚀风险，针对性采取有效的防护措施。同时，还需要开展长期监测，及时处理新问题，以最大限度降低外部因素导致的腐蚀风险。

1.3.1 杂散电流问题

杂散电流的存在会给油气管道带来一定的腐蚀风险，因此在油气管道的设计、施工及运行过程中，需要考虑采取一些有效的措施，防止杂散电流对管道产生腐蚀损害。油气管道的杂散电流产生与周围环境及管道自身电化学池电位有关。当管道连通另一电化学电位较低的构件或设施时，如果电位差超过一定值，就会产生杂散电流，从而引发管道腐蚀。杂散电流可由线性和非线性两种方式产生。线性杂散电流主要受电源电位、管道电位和电路电阻的影响。当电路中存在电位差，管道交流电阻和电位之间的电势差会产生电流，从而产生线性杂散电流。其他因素如水分、电解质浓度等也会影响杂散电流的大小。非线性杂散电流往往是由高压直流线路通过电介质引起的，比如石油和天然气管道经过高压直流输电线路时就可能产生非线性杂散电流。非线性杂散电流的幅度较大，可以对管道产生较大的腐蚀作用。油气管道在杂散电流的作用下，可能会发生如下几种腐蚀现象：金属腐蚀，极化腐蚀，应力腐蚀和脱化腐蚀。

1.4 防腐措施问题

首先，在技术上，长期采用同一防腐体系未能吸收新技术，防腐效果受限。一些管道的防腐技术内容还不够新颖创新，难以适应不断变化的腐蚀环境要求。其次，在监测方面，部分管道未建立长效监测机制，无法实时了解防腐层质量变化情况。一旦出现问题，可能无法及时发现和处理，从而导致更大损失。如果防腐技术滞后和监测不到位，很可能导致防腐层在储运过程中脱落，进而使空气进入管道，严重影响防腐层的防护功能。特别是在复杂的腐蚀环境下，这种不足将直接加速管道的腐蚀速度。所以，完善防腐措施，需要从两个方面入手。一方面是加强防腐技术的研发创新，不断提升防腐效果；同时也要

建立长效的监测机制，实时了解防腐质量，一旦出现问题能及时处理，这将有利于提高管道的防腐水平和服务寿命。

2 油气储运管道腐蚀问题的防护措施

2.1 管道阴极保护

阴极保护是一种常用的防腐技术。它通过在被保护体金属表面导入阴极电流，使被保护体电位向负方向移动，进而降低其腐蚀速度。阴极保护的工作原理在于，导入阴极电流可以使被保护体成为电池的阴极，从而减小其腐蚀电势。根据阴极电流的来源，可以分为牺牲阳极法和外加电流法两种方式。牺牲阳极法利用更易腐蚀的金属作为阳极，通过其腐蚀提供电流。外加电流法则通过外部电源向被保护体导入电流。

2.1.1 牺牲阳极保护法

牺牲阳极法是一种常见的阴极保护方式。它通过将被保护体金属与电位更负的金属连接起来，利用后者作为牺牲阳极提供电流来保护前者。这种方法的工作原理是：牺牲阳极材料如镁、锌、铝等金属由于电位更负，能以相对均匀的速度被腐蚀溶解，从而向被保护体金属提供需要的保护电流。这就使被保护体的阳极电位向更负方向移动，从而大大降低其自身的溶解速度得到有效防护。与外加电流法相比，牺牲阳极法不需要外部电源，安装维护较为简单。但是，由于依靠牺牲阳极本身的腐蚀提供电流，其服务寿命较短，需要定期更换。总体来说，牺牲阳极法是一种成本低下但保护效果较差的阴极保护方法。它最适用于腐蚀严重程度较低、对保护期限没有高要求的场合。

2.1.2 外加电流保护法

外加电流法作为一种有效的阴极保护方法，在油气管道网防腐中应用广泛。它通过外部电源提供阴极电流，利用整流器和恒电位仪将交流电整流后，使电流经过辅助阳极进入土壤流向被保护体，最后回到整流器形成闭环电路来实现保护。优点是可以根据不同区域土壤条件，灵活调节输出电流强度，保护范围大，且对管道本身无侵害性。一般来说，油气公司会根据管网工程实际，将外加电流法应用在以下关键区域：

1. 地质条件复杂多变的区域，如河流隧道口等，这里易产生局部电位差，外加电流法可以有效弥补。

2. 管网节点和接头部位，是腐蚀最易发生的部位，外加电流法可以针对性强地进行保护。

3. 难以布设牺牲阳极的区域，如水下管段，外加电流法就显得尤为重要。除此以外，在普通区域内，则采用外加电流法与牺牲阳极相结合的方式。通过合理布设牺牲阳极群，外加电流法再对间隔区域进行补充保护。同时，公司还会利用 SCADA 系统对全网外加电流站进行监控管理，实时调整输出参数，保持管网处于安全的阴极保护状态。这就构成了一个覆盖全面的阴极防腐体系。

2.2 电位维护

阴极保护在保护钢质管道免遭腐蚀时，需要充分考虑管道使用环境及条件的影响。国家标准明确指出，在管道使用寿命期内，应考虑管道周围介质电阻率的变化对阴极保护电位的影响。一般土壤和水环境条件下，碳钢管道的最小保护电位应达到-0.85V。但是，如果环境条件如温度、pH 值等偏离正常范围，就需要对这个最小保护电位进行相应调整，使得管道正常保护

电位处于 $-0.85V \sim -1.2V$ 之间。温度是影响因素之一。研究表明,随着温度的升高,最小保护电位会呈负移趋势,在 $80^{\circ}C$ 时达到最负值。这是因为在此温度下,碳钢的腐蚀速率最大。但温度继续升高后,最小保护电位会逐渐正移。这 fully 符合碳钢材质随温度变化规律。另一方面,不同类型土壤的电阻率也不尽相同,这也会影响保护电位设置。因此,在实施阴极保护时,需要结合管道真实使用环境,对保护电位进行必要调整,以确保管道免受不同环境条件下的腐蚀。只有兼顾各种影响因素,才能长期高效开展阴极保护工作,保障管道安全运行。目前一般采用电位自动控制系统,即在管道表面施加电源电流以控制电位的防护手段,它可以在管道正常运行时自动地控制电位在正常范围内变化,起到保护作用。

2.3 绝缘保护

绝缘保护是通过在油气管道表面加上绝缘材料来防止电流的流动,从而减少管道腐蚀。目前通常在油气管道表面采用三层结构聚乙烯防腐层(简称3PE)方法防腐,第一层为环氧涂料,第二层为胶粘剂,第三层为挤出聚乙烯,各层之间相互紧密粘接,形成一种复合结构,取长补短,从而达到最大防腐效果。

2.4 PCM 检测维护

PCM 检测技术采用交流梯度(简称ACVG)方法,通过在管道与大地之间施加一定频率的正弦电压,将检测信号电流传输到管道中,被检测到,并沿着地面上的路线行驶。检测管道电流产生的交变电磁场的强度和变化规律。管道中电流的变化通过管道上方地面的磁场强度换算,据此判断支线的位置或管道的损坏缺陷。对检测出的油气管道疑似破损点进行开挖修复。

3 油气储运管道腐蚀问题的预测方法

3.1 预测方法

对油气储运管道腐蚀问题进行预测,需要采用系统工程的方法来分析和建模。具体来说,首先需要建立管道腐蚀条件的动态模型。可以将管道参数视为一个随时间变化的随机过程,采用马尔科夫链来描述其不同环境条件下的状态转移规律。这里需要深入研究钢管本身在不同时间下的腐蚀速率,以捕获其动态变化特征。同时,还应考虑其他影响因素如土壤成分、流体性质等,通过数据学习定量分析它们对腐蚀的影响程度。其次,在建立基础模型的基础上,需要结合管道实际使用情况进行个性化定制。比如针对不同强度下的腐蚀速率设置,通过对比管道稳定标准来评估各条件下损害程度的可能性。这可以使模型更贴近实际工程问题。同时,还应考虑多种影响因素的叠加效应,如环境参数的综合影响,这更能反映复杂因素的叠加关系。此外,模型需要与实时监测数据进行对接。可以设置时间间隔对预测结果与实际参数进行对比,发现误差后重新校准模型各参数,使其能够不断学习和完善。这需要实时获取管道温度等重要指标,及时发现偏差以保证预测精度。总之,采用系统方法,结合灰色理论与马尔科夫过程等技术手段,全面分析各影响要素及其动态变化规律,定期修正模型,可以有效预测油气储运管道不同阶段的腐蚀情况。该方法科学全面,有利于提高预测准确性和服务水平。

3.2 预测结果

对油气储运管道腐蚀预测结果进行评估分析,是验证预测方法科学性和准确性的重要环节。可以采集不同时间点或不同

管段的实际腐蚀深度数据,与相应时期预测结果进行对比,如表1所示。这可以反映出预测值与实测值在不同防腐条件下的误差范围,找出误差来源。同时,还可以对比不同防腐方法下预测结果的变化规律,与实际情况进行一致性分析。此外,还可以对预测精度与影响因素的关系进行研究。例如管道使用年限与预测误差的关系,不同环境条件下的预测有效性等。这有助于进一步优化模型,提高在各工作条件下的预测能力。总体来说,通过实测值与预测值的多次对比,可以证实预测方法在不同场景下的稳定性和可靠性。同时也可以发现模型的不足,为后期改进提供依据。只有实践检验才能真正检验预测方法的科学性。这对保证油气管道运营安全具有重要意义。

表1 油气储运管道基于不同防腐方法预测结果对比数据

预测点	实际腐蚀程度/mm	预测腐蚀深度/mm
1	0.221 2	0.253 0
2	0.452 4	0.541 0
3	0.361 0	0.473 5
4	0.542 4	0.454 4
5	0.981 5	0.982 5
6	0.902 2	0.865 0
7	0.550 3	0.543 6
8	0.986 7	0.981 7

4 结语

总之,油气储运管道腐蚀问题是一个系统工程问题,其成因复杂且影响因素多。本文通过对管道材料特性、环境条件及安装工艺等各个方面的深入分析,揭示了管道腐蚀的主要成因。同时,提出了从管道材料选择、安装工艺优化到环境监测防护等全面而系统的防腐对策。未来工作应该在实践应用中进一步验证各种防腐方法的有效性,不断完善防腐体系。同时,需要开展更多管道实际案例的灰色预测研究,不断提高预测准确度。只有通过实践检验,管道防腐技术才能真正应用于实际生产中,为油气企业提供可靠的技术支持。

[参考文献]

- [1]常胜龙.油气储运中输油管道防腐工艺的研究[J].中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(15): 13-15.
- [2]范晓琦,赵修智.油气储运中的管道防腐问题分析[C]//中国城市燃气协会安全管理委员会.2021 第五届燃气安全交流研讨会论文集(上册).山东济南燃气有限公司; , 2023: 5.
- [3]胥伟.管道防腐技术在油气储运中的全程应用[J].化工管理, 2021, (07): 144-145.
- [4]赵亮.管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用[J].中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(01): 172-174.
- [5]许竹馨.管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用分析[J].全面腐蚀控制, 2020, 34(03): 39-40.
- [6]万人杰,刘吉飞,陈鸿玉,等.探索海上油田油气储运中的管道防腐技术[J].石化技术, 2020, 27(03): 245+247.
- [7]赵志峰.长输管道腐蚀防护系统安全性动态评价方法研究[D].西安科技大学, 2017.