

油气管道腐蚀检测技术与防腐策略

高冬冬（中海石油（中国）有限公司深圳分公司，广东 深圳 518000）

摘要：长久处于地面以下的油气管道，不可避免地承受着土壤中的酸性、碱性和盐分的腐蚀作用。这导致防腐层遭到外力作用的破坏，管道的锈蚀进而急剧加重，增大了发生泄露的可能性，从而可能诱发诸如中毒、火灾等相关的生产安全事故，不但加大了石油和天然气的输送成本，亦削减了企业的整体运营效能，并对附近的生态环境和居民安全造成了较大的威胁。基于此，有必要对输送管线的腐蚀检测技术进行深入探讨，增强其实操中的实效性，并强化防腐策略以确保油气管路的稳定性与安全性。

关键词：油气管道；腐蚀；检测技术；防腐；策略

针对油气输送管道，由于其长期埋于地下，周围土壤含酸性、碱性和盐分等成分，诸多因素会引发管材腐蚀，进而导致石油和天然气的泄露问题。受诸多内在与外在因素的制约，油气管道常遭腐蚀侵袭，这种腐蚀不单缩减了管道的使用年限，亦频频导致油气泄露，环境因此遭受破坏，同时造成能源的极大损耗。鉴于此情况，必须对油气管道实施精准的检测，并施行高效防腐措施，以期提高其使用效率。

1 油气管道腐蚀的类型和机理

油气管道的架设对工艺水平要求苛刻，并需要投入较多时间。依据国内已经启用的油气管道的数据显示，其一般在投入使用超过一年后容易出现腐蚀穿孔问题，这不仅妨碍了油气的正常输送，还会因为油气泄露而存在重大的安全风险。从油气管道腐蚀的具体机理进行分析可以发现，主要包含氧气腐蚀、硫化氢腐蚀和土壤腐蚀三种。油气管道一般都是由铁加工而成的，随着时间的流逝，铁表面会因为油气水分子和氧分子的相互影响而逐渐产生腐蚀，并会不断加剧。硫化氢作为一种化合物，其易燃并具酸性，能溶解于水形成含有硫化氢的液态溶液，在这种微酸性条件下，油气管道可能遭受较重的腐蚀损害。地下油气管道受土壤中游离电流、湿度、pH 值及含水率等多种因素的作用，由于这些元素间电压差的缘故，管道可能遭受侵蚀。想要降低油气管道出现腐蚀的情况，首先，在油气管道的生产过程当中，决定管道使用年限的根本因素乃是其本身品质，不合格的管道於施用期间，内外表面开裂与锈蚀的情况将更为频繁；其次，管道材质因素。铁质管道含有相当量的非金属成分，一旦埋置于地下工程中，便易与油气及其附近环境作用发生化学变化，从而引发管道腐蚀开裂的问题；第三，自然环境因素。环境因素如温度、湿度以及土质对管

道均有影响。如果在建设期间未能妥善应对这些环境变量，可能会在管道运行时引发诸多问题。

2 导致油气管道腐蚀问题的根本因素

2.1 温度因素

在油气管道的运行中，由于输送介质内在温度和外界环境温度变化的作用，会出现某些变化，管道最初的埋设深度及其走向规划直接影响温度状况。若温度过分升高，则油气管道面临腐蚀风险的机会将会提升。倘若油气管道的外部表面暴露于过量的水分并且周围土壤含有腐蚀因素，亦可引起腐蚀。

2.2 设计和施工因素

从事油气管道设计的工作人员在进行设计时，需细致考察管道附近地区的地质特性及环境状况，以评估周围地质对管道是否可能造成腐蚀的影响。施工中的油气管道若长期接触土壤，可能因土质及众多微生物作用遭受腐蚀。相关工作人员需利用数字技术和工作经验来评估并估算土壤层的电阻率，并按照高、中、低三个等级对其进行分类。面对复杂地质状况时，工作人员应依据土壤的酸碱度、电阻率和含水量来全面评估土质情况。此外，工作人员所采取的防腐措施会直接影响到油气管道是否会出现腐蚀情况。

2.3 油气成分因素

石油和天然气中的化学成分以硫和水分还有各类杂质，含量各有差异，倘若氧化异质物和酸性物存在，油气输送管道就极有可能遭遇腐蚀的问题。油气中含有二氧化碳、氧气和各类酸性气体，这些成分在发生电化学作用时容易引起腐蚀，从而潜在地缩短了油气输送管道的使用寿命。

3 油气管道腐蚀的检测技术

3.1 皮尔森检测技术

皮尔森探测法属于地上检测手段，其主要应用于

检测油气管道的外部腐蚀情况。采用此技术可以锁定位于地下的油气管道的防腐层损伤处,检测人员经常从连于阴极保护测试桩与钢制阳极的电源端注入交变电流至管道,不过运用此技术同样具备一些不利之处,比如将耗费管道防护层内的电流。在此情况下,要求检测人员在运用此技术进行检测时,务必要最大限度降低涂层用电量。通过该技术的应用,若是在涂层上出现问题,定点电流在经过土壤时,便会产生电压差,由此便能在地表定位出隐藏于地底的油气输送管道的图层问题位置,进而勾勒出一个明确的电流走向图。

3.2 渗透检测技术

渗透检测技术即在待检测管道的外层涂抹上含有荧光染料的过滤液,该液体经过过滤纯化之后,利用毛细作用被直接吸附进入表面缺陷的孔隙之内。表面滤液检测前,待干燥后,将显影液均匀涂抹于被测管道的表层上,并利用照明设备的特性,观察液体痕迹所指示的缺损部位,从而分析出缺陷的外形及其分布情况。该技术操作简单,能很直观地对缺陷进行识别,在检测用时较长。

3.3 超声波检测技术

在进行超声波检测时,由于管线内部表面的锈蚀差异以及所处位置不一,检测人员会观察到声波信号的传播时间存在变化。探头捕捉并吸纳了超声波信号,经过技术人员对所获信息数据进行剖析与研讨,便可准确诊断出油气管道的腐蚀状况。这项技术在应用实践中能够便捷地对数据进行检测,具备较高的测量准确性,并省去了后续的测量与校验工作,在操作实施时对仪器设备提出了较高的标准。目前,广泛将此技术投入使用于大口径厚壁管道的检测工作,其检测过程依赖于特定介质,这对技术的稳定性和应用范畴造成了某种限制,亟需持续扩展其应用。

3.4 漏磁检测技术

在油气管道腐蚀检测工作中,漏磁检测方法被广泛采用,其不仅加快了检测流程,也增强了检测的准确度。在此过程中,工作人员通常选用磁力线作为工具,一旦检测的管道出现腐蚀,这些磁力线的走势将相应发生些许改变,依此可以准确诊断出腐蚀情况。一般来说,如果输油气管道表面较为光滑,并且没有发生腐蚀现象,当运用漏磁检测技术进行检测的时候,磁力线会展现出一种直线状的特征,在保持了一种大致平行的状态的同时,方向一致地朝前延伸。如果油气管道遭受内部腐蚀,磁场线也会相应发生变化,而

且有时会形成局部隆起,这可有利于锁定具体的腐蚀点,从而增强检测的效果。应用此项检测技术于油气管道的检测中,操作过程较为简单易学,因而减少了对作业人员的专业要求,促进了对管道腐蚀状况的早期发现,增强了作业人员对腐蚀问题的认识 and 了解,推动了解决策略的精准制定,并提高了处理效率。

3.5 信号递减涂层检测法

信号递减涂层检测法同皮尔森检测法在原理上有部分相似,然在实际的检测过程中,二者所使用的方法却并不相同。在信号递减涂层检测法中,交流电在通过管道时,会在其外侧形成磁效应区域,将检测圈置于管道上,能依据圈内产生的电位差来判定磁效应的强度,而且检测所得数据能够在分贝量规上清楚地呈现。由此,电流在缺陷位置将显得较为微弱,且电流一旦产生波动,相应地磁场的作用力亦将随之改变。此外,磁场作用力的改变进一步引起感应线圈感应到的信号出现相应变动。这样的变化将直接在分贝刻度表中体现出来,然后结合记录结果发现管道的腐蚀位置。

4 油气管道防腐策略

4.1 阴极保护技术的应用

该保护技术分为两类,即施加外部直流电流的外电流阴极保护和以牺牲阳极的保护方式。前一种依靠稳定且有方向性的电子流连续作用以实现阴极的腐蚀抑制。后一种则通过外部直流电源及导体的使用,人为控制电流的流速,均衡了被保护金属与油气传输管道间的电势差,确立了金属相对为正极,油气管道则形成负极的状态,从而防止了管道遭受腐蚀。

环境因素对电子流动速度的影响相当显著。通常在繁杂的环境中,由于电子流向性的移动速度不稳定,导致阴极保护措施实施时其移动速率呈现减缓趋势。电子流动快慢的差异将影响其对金属管路的防护效力。应当采用强制电流阴保方法对此情形进行处理,亦即在管道的两端装置诸如直流电源、导线路路之类的强制电流发生器。再通过强制导入电流,构建金属管道和保护性金属之间的电流连接,建立阴阳极体系,促进电子朝一定方向流动,从而增强了对保护金属的阴极保护效能,进一步减缓了金属管道的腐蚀速度。

4.2 防腐涂层技术的应用

防腐涂层技术是油气管道防腐蚀防护方法中较为常用的一种,就处理手段而言,喷射涂覆是该工艺中最普遍的处理方法。在应用防腐涂层技术时,必须满足下述几点要求:①喷涂材料具备良好的抗剥离特性

及较高的附着力；②喷涂的抗腐蚀覆盖层需保证化学与物理双重稳固性，且应对酸性、碱性、高温和高压状况具备适宜的适应性；③在喷涂防腐涂层时，需要先清洁金属管的表面，确保其表面保持清洁且干燥；④喷涂防腐涂层时需确保材料的充足应用，严禁削减使用量或偷梁换柱，在施工过程中应当力求涂层覆盖平滑匀称；⑤喷涂防腐层作业时所处的气温和湿度应满足既定的施工规范需求；⑥喷涂防腐层完毕后要细致检查涂层，如发现瑕疵或不坚固之处应迅速进行弥补，并且在日后的管道维护过程中一旦发现同样原料形成的防腐层出现剥落或损伤，也需立即进行恢复处理。

4.3 电化学防腐技术的应用

油田生产过程当中，主导性的腐蚀方式即为电化学腐蚀。针对此类腐蚀问题，需要通过有针对性的防腐技术来保护管道。利用外加电流的方式来调整金属或合金的腐蚀电位，以此减缓管道的腐蚀速度，即为电化学防护。①牺牲阳极法。通过将一种电势较低（更负）并活性高于被保护金属的材料（包括合金）作为牺牲阳极与之连接，使其在腐蚀环境中优先被侵蚀，同时生成持续的阴极电流导致被保护金属产生阴极极化作用，从而延缓了其腐蚀进程，其由牺牲阳极和参比电极构成。此外，替代牺牲阳极技术的一种方式是用阳极金属镀覆，也就是采用热浸镀、热喷涂等手段，在需要防护的金属外表附上一重金属膜，这层膜的电势要低于底层金属的电势。若镀金属层遭受损坏，那么在湿润气候或液体介质中基底金属与镀层可能构成初级电池，由于镀层电势偏负，变成阳极，导致金属损坏区域得到了阴极保护作用；②原电池法。原电池法是把待保护体与具有较正电位的金属或其他导体（作为阴极）相连，利用原电池效应产生的电流对保护物阳极实施极化，从而实现保护作用，并且减少了腐蚀速率。

4.4 缓蚀剂技术的应用

向管道中投入缓蚀剂被认为是最为直接、便捷且高效的方式，以此来遏制管道中的微生物诱发腐蚀及积垢导致的腐蚀问题。缓蚀剂依靠化学或物理的吸着机理附着于金属表面，使金属的电荷分布及其表界性质向平衡态转变，进而提高了腐蚀过程所需的活化能，有效降缓了金属腐蚀的速率。缓蚀剂上的非极性基团，可紧贴于金属界面，构筑出一道水排斥性的防护膜，此层防护膜有效遏制了诱发金属锈蚀的电子或物质交换，进而降低了金属的锈蚀进程。为了防止因为酸性气体及强酸与弱碱生成的盐类引致的腐蚀作用，可以

施用酸性环境下的缓蚀剂来减缓腐蚀过程，通过与酸介质中产生的氢离子结合形成共轭碱对并吸附在金属表面，缓蚀剂导致该表面带有正电性，这样有助于阻止与腐蚀相关的氢离子的吸附，以此降低金属的腐蚀速率。

5 油气管道防腐施工质量控制策略

5.1 检查损伤点

为了进一步增强油气管道的安全性能，工作人员应当深化对油气输送管道防腐知识的掌握，特别是在管道铺设、钢管起吊等作业过程中，工作人员必须严格依照操作手册进行精确作业控制，尤其需要注意防止对油气管道防腐层造成撞击。同时，进行管道焊接作业期间，要对防腐保护层的露点进行细致的探测是必须的，若侦测到渗漏点必须立即修复，并且继续执行后续的检验程序，确保所有相关的数值都达到了预设的规范。

5.2 补口施工

在提高及控制油气管道防腐施工品质中，补口施工作业极其重要。在此过程中，技术人员必须依照既定的安装规范严格执行补口防腐层的剥离及取样检验，并持续提升对防腐层工程质量检查的执行力度，直到监理人员在现场核实无误后方可开展接下来的作业。对于管道补口作业而言，必须在接合部位的聚乙烯外层实施打磨处理，并继而采用火焰加热技术作为预备步骤，以便开展余下的操作流程。在此过程中，需将热缩带固定于片材时，需留意其与邻近的聚乙烯层要保持宽度超过 100mm，同样地，在片材固定环节，搭接部分的宽度也需要超过 80mm。

6 结语

在日常使用中，油气管道会因油气成分、周边环境的温度状况以及管道本身的设计与施工品质等方面的影响，导致管道遭受不同程度的腐蚀，从而可能会造成燃料外泄、发生火灾甚至引起爆炸的严重安全隐患。所以，相关工作人员需要结合实际情况科学选择腐蚀检测技术和防腐措施，以此使油气管道的防腐效果得到提升，延长其使用期限。

参考文献：

- [1] 巴东辉. 油气管道的化学腐蚀机理及防腐措施分析[J]. 石油和化工设备, 2021, 22(4): 2-2.
- [2] 丁锐, 姚宝慧, 方孝斌. 长输地理油气管道腐蚀因素分析与防护对策探讨[J]. 应用化工, 2021, 48(12): 6.
- [3] 魏竟. 长输油气管道腐蚀的因素分析与防腐对策探讨[J]. 科教导刊: 电子版, 2020(11): 1.