油气长输管道腐蚀与防护措施研究

丁淑春　黄　鹤　赵　晨

国家管网集团山东省公司　山东济南　250000

摘　要：随着我国油气长输管道发展，油气长输管道腐蚀防护工作重要性逐渐凸显。该文通过分析油气长输管道的特点，分析油气长输管道腐蚀的原因，阐述了油气长输管道腐蚀防护措施，为油气长输管道腐蚀防护工作提供参考。

关键词：油气长输管道；腐蚀；防护措施

Research on Corrosion and Protection Measures of Oil and Gas Long Distance Pipeline

Shuchun Ding, He Huang, Chen Zhao

National Pipeline Network Group Shandong Province Company Shandong Jinan 250000

Abstract: With the development of oil and gas long-distance pipelines in China, the importance of corrosion protection work for oil and gas long-distance pipelines is gradually becoming prominent. This article analyzes the characteristics of oil and gas long-distance pipelines, analyzes the causes of corrosion in oil and gas long-distance pipelines, and elaborates on corrosion protection measures for oil and gas long-distance pipelines, providing reference for corrosion protection work of oil and gas long-distance pipelines.

Keywords: Oil and gas long-distance pipelines; Corrosion; Protective measures

1　油气长输管道的特点

油气长输管道是指将石油、天然气等液体或气体通过管道进行远距离传输的管道，其主要特点包括：

长度大。油气长输管道通常高达数千公里甚至更长，具有极高的工程难度和技术要求。

大流量输送。油气长输管道的直径通常非常大，可以实现大流量的液体或气体输送。

安全稳定运行。油气长输管道的安全问题是关系到国家经济发展和国防安全的重要问题，因此需要严格考虑和控制各种因素，保持其安全稳定的运行状态。

技术含量高。油气长输管道的建设涉及到多个学科领域的应用和创新，需要综合利用机械、焊接、自动化控制、检测监控等先进技术手段，掌握复杂的工艺和管理流程。

维护成本高。油气长输管道建设后还需要进行日常维护，以确保其长期可靠的运行，而维护成本对于投入资金、管理人员和设备设施等方面也提出高要求。

总之，油气长输管道具有规模大、信用度高、技术含量强等特点，对建设和维护都提出了不小的挑战。

2　管道腐蚀的原因

2.1　常见的管道腐蚀

管壁点蚀。指在管道金属表面出现局部点状、窝状或孔洞状的腐蚀，通常由于电化学腐蚀引起。

管壁均匀腐蚀。也叫普遍腐蚀，是指管道各个部位的金属表面均匀腐蚀。此类腐蚀主要来自氧化、硫化和碳酸盐等物质对钢铁材料的侵蚀。

管壁应力腐蚀开裂。指在内外环境因素共同作用下，导致管道金属表面产生应力腐蚀开裂，这种腐蚀更容易发生在焊接区和T型接头处等高应力位置。

材料裂纹腐蚀。在管道初始缺陷处或者制造、安装和弯曲过程中，可能会出现裂纹，同时腐蚀服役时助长了该裂纹，最终导致管道漏损、失效。

2.2　油气长输管道的腐蚀

油气长输管道的腐蚀还包括化学腐蚀、电化学腐蚀、杂散电流腐蚀、生物化学腐蚀等：

当油气在管道中运输时，形成的腐蚀种类有多种类型，常见的是管道的均匀腐蚀、点腐蚀以及应力作用形成的腐蚀。

土壤、空气、输送的油气中的水汽、酸性物质会对天然气管道产生化学腐蚀。快速流动的天然气也会对天然气管道产生腐蚀，导致天然气管道破损及天然气泄露。

在土壤的空隙溶解了空气、水中含有相应的盐离子，使土壤具有导电性，与金属材质出现电化学使金属表面会形成微电池效应，将金属溶解，产生电化学腐蚀。

在交流杂散电流的影响下，管道附近存在高压电力线，二次感应交流电叠加，从而产生杂散电流腐蚀，可能管道

导致局部穿孔。

如果土壤环境缺氧，其中存在硫酸盐还原菌，硫酸盐与硫化氢、铁发生化学反应，从而导致细菌腐蚀即生物化学腐蚀。

2.3 温度对油气长输管道腐蚀的影响

温度是油气长输管道腐蚀的一个重要因素，对管道的腐蚀速率和类型都有一定的影响。

一方面，高温环境下可能会促进某些钢材中已存在的腐蚀物质的化学反应，加快腐蚀速度并增加管道失效风险。另一方面，温度过低时也可能导致管道产生冷薄化现象，从而增加了管道的脆性和易损性。选择抗高温、抗侵蚀能力强的防护材料，比如耐高温底漆、耐寒保温层等，以提高管道的抗腐蚀能力。

3 油气长输管道腐蚀与防护措施

腐蚀是影响管道系统可靠性和使用寿命的关键因素，腐蚀破坏引起的恶性突发事故，往往造成巨大的经济损失和严重的社会后果。油气长输管道腐蚀是导致管道失效的主要原因之一，为了保证油气长输管道的安全稳定运行，需要采取相应的防护措施来预防和控制管道的腐蚀。

当前埋地钢质管道的防腐蚀系统采用防腐涂层和阴极保护联合防护形式。具体实施是将防腐材料均匀致密地涂敷在已经除锈的管道外表上，使其与腐蚀介质隔离，形成防腐绝缘层，亦称防腐涂层；同时，以某种方式在被保护金属构件上施以足够的阴极电流，通过阴极极化使金属电位负偏移，从而使发生金属腐蚀的阳极溶解速度大幅度减小，甚至完全停止。

一般来说，针对管道腐蚀问题，主要有以下几种防护措施：

表面涂层防护。通过在管道表面涂上特殊的保护材料，形成一层防护膜来隔绝管道与环境的接触，并对管道进行防水、耐化学腐蚀等处理。

阳极保护。通过在管道表面或周围设置带电的阳极，促进金属中的孔隙作用，使得钢管中电流向阳极流动而达到保护钢铁的目的。

选用抗腐蚀性能较好的材料。通过选择具备优异抗腐蚀能力的合金材料，如不锈钢、有色金属等，来提高管道的抗腐蚀能力。

定期检测和维护。及时对管道进行各类检测和维护，以发现管道内的腐蚀、缺陷等问题，及时采取相应措施进行修护和更换。

需要注意的是，在进行防腐工程时，必须严格按照国家标准和相关规定操作，并由专业人员进行操作。同时还需加强现场巡检和监测，提高员工安全意识和技能培训，建立健全应急响应机制，以便在出现紧急情况时及时采取相应的应对措施。

防腐涂层使腐蚀电池回路电阻增大，或使金属表面保持钝化的状态，或使金属与外部介质剥离出来，从而减缓金属的腐蚀速度。防腐涂层应具有较好的耐蚀性、较好的防渗性、较好的附着力和柔韧性；但由于其本身的微孔、老化，往往也会出现龟裂、剥离，因而在施工过程中难免会产生机械损伤，这些因素都会使防腐涂层的寿命大大缩短。因此，裸露部分的金属与带防腐涂层部分的金属形成小阳极和大阴极的局部电池，会导致金属的腐蚀。而采用阴极保护和防腐涂层联合防腐蚀，则裸露部分得到阴极保护，这就弥补了防腐层的上述缺陷。对埋地管线的阴极保护通常分为牺牲阳极保护法和强制电流保护法两种形式。牺牲阳极保护是采用具有较负电位的金属阳极与被保护管道实行连接；强制电流保护法又称外加电流法，是使用外部电流为被保护管道提供负电流的方法。

3.1 表面涂层防护

为保护油气管道，经常在管道表面涂防腐涂层来减少管道与外界环境的接触，减少化学腐蚀、生物化学腐蚀等。目前常用的表面涂层防护主要有道外防腐保护层方式有非金属涂层、氧化处理以及磷化处理等方式。

3.2 阴极保护

在管线的外部附加电流传导装置将电流传递出去，也有部分企业选择使用阳性的电极保护形式对管道开展保护工作。

3.2.1 恒电位仪

恒电位仪（potentiostat）是一种用于测量和控制电位的仪器，广泛应用于电化学分析、材料研究、电解加工等领域。该仪器可以通过对被测试电极施加恒定的电位或施加一个既定的电位阶段性变化，来控制电极系统的电势变化，并实时测量电极系统的电流响应。

恒电位仪通过采用高精度的模拟电路和数字信号处理技术，恒电位仪能够快速、准确地测量电位变化并自动稳定电位，从而实现对电极系统的电位和电流的精确控制。同时，它还具有多种工作模式和数据记录功能。

3.2.2 汇流点及参比电极

汇流点是指电极系统接线终点，等价于所有测量电极或参比电极的共同终点。在电化学分析中，电化学反应需要在汇流点处进行电子传递，从而完成电化学分析过程。为了保证准确的电位测量和电化学反应的稳定性，通常需要将汇流点的电势设为零，并且使用参比电极校正电位。参比电极是一种被用作标准电位基准的电极器件。它的电位是被广泛认可和接受的标准值，并且可以通过在参比电极上进行电位校正来使涉及到的测量结果更为准确。常见的参比电极有饱和硫酸铜电极等。在电化学分析中，参比电极是与工作电极相对连接的，用于衡量工作电极的电位，并使其与参考电极相同，以便比较不同电极下的电位差异。

简而言之，汇流点是电极系统连接的最后一个节点，参比电极是被广泛认可和接受的标准电极，用于衡量其他电极的电位并进行电位校正。

油气长输管道保护中，根据国家和企业的施工规范，为保证安装的精确度，需要对汇流点的位置以及与其他设备的标准间距进行调整。同时，在指定的位置安装长效参考电极，以保证其他设备在连接到其他设备后都可以精确地进行连接。

3.2.3 阳极地床

阳极地床（anode bed）又称电源地床，是指一个由多个活性阳极组成的系统，用于防止金属结构的腐蚀而设计的一种阴极保护手段。阳极地床采用直流阴极保护技术，通过向结构物施加一个适当的电位，来使结构物作为阴极，从而避免其受到外部环境和介质的腐蚀侵蚀。

阳极地床通常由一系列金属（如铝、镁等）或合金（如铝锌铟合金等）阳极和土壤形成的电解质介质组成。这些阳极与土壤之间保持着稳定的接触，被直接安装在土壤中。当阳极地床与外部电源相连后，阳极会向金属结构物释放阳极保护电流，并维持一个稳定的阴极保护电位，从而保持结构物的正常运行。

3.2.4 牺牲阳极阴极保护法的应用

牺牲阳极阴极保护法是一种常用的防腐蚀技术，主要应用于各种金属结构和设备的防腐蚀处理。该方法通过将一种相对更容易发生腐蚀反应的金属或合金材料作为保护阳极，与被保护金属电偶连接，并使其处于氧化还原环境中，从而降低了被保护金属的腐蚀速率，达到保护金属结构的目的。

在石油和天然气行业，牺牲阳极阴极保护法是一个非常重要的技术，用于防止管道和油气管线的外部腐蚀，并延长他们的服务寿命。

牺牲阳极阴极保护法是一种有效的防腐技术，广泛应用于各种金属结构和设备的防腐蚀处理。

3.2.5 外加电流阴极保护法的应用

外加电流阴极保护法是一种常用的防腐蚀技术，主要应用于金属结构和设备的防腐蚀处理。该方法通过向被保护金属结构提供一定的电流，在其表面形成一个电化学反应中的半电池或非活性电极，从而减缓或杜绝金属腐蚀现象。

该技术在石油、化工行业得到了广泛应用。石油罐、储备器、管道等都需要进行电位和电流的控制，以防腐蚀。外加电流阴极保护法是一种有效的防腐技术，广泛应用于长输埋地管道腐蚀防护。

3.3 选用抗腐蚀性能好的材料

油气长输管道中常用的防腐性能好的材料主要有以下几种：

聚乙烯防腐层：聚乙烯(Polyethylene，PE)是一种高分子化合物，具有良好的抗腐蚀性能，因而广泛应用于油气长输管道的内外防腐层中。其优点包括可以有效地降低氧化和腐蚀带来的损坏，易处理、施工简便、耐高温等。

环氧防腐漆：环氧防腐漆是一种非常常见的油气长输管道的防腐材料。该漆涂层具有耐化学污染、耐磨损、耐冲击、难燃等多种优点，并且对铁、钢具有极好的附着力，可以很好地承受潮湿、寒冷等恶劣环境，是一种相对较为成熟的选择。

聚氨酯防腐层：聚氨酯(Polyurethane，PU)亦可作为油气管道的防腐涂层。该材料属于耐腐蚀性较好的高分子材料之一，其具有优良的抗紫外线性能、成膜性、冷咳、耐热等特点，同时在施工时可以适应水面、垂直物体等复杂工况。

总体来说，在油气长输管道中，使用聚乙烯防腐层、环氧防腐漆、聚氨酯防腐层以等材料均可以起到优秀的防腐保护作用。

3.4 定期检测和维护

油气长输管道的防腐保护是保障其安全运行的关键措施，其中定期检测和维护极为重要。

防腐层作为油气长输管道防腐保护的前线，直接决定着管道在使用过程中的腐蚀情况。然而，防腐层随着时间与外界环境的变化，其附着状态、厚度等参数都可能发生变化甚至出现破损现象。如果不及时对防腐层进行检测，就无法确定其是否满足工作条件，从而会影响整个管道的安全性。

针对长距离输送的管道，其检测施工要求比较高，例如管内壁无损探伤、钢管表面缺陷检查等，需要大型专业设备和技术人员的配合运用。同时，相关人员也应该持有相应资质，否则会影响检测结果的客观性。而定期检测与维护可以保障检测设备和人员的专业性和准确性。

油气长输管道的建设和运营成本较高，若因疏于检测与维护等原因造成管道损毁或泄漏事故，所造成的经济及环境损失难以承受。定期检测与维护可以帮助发现防腐层瑕疵和其他潜在隐患，并及时采取有效措施进行修补或更换，从而避免不必要的经济损失。

针对油气长输管道安全和环保的关注，国家相应出台了一系列针对性的法律法规和标准，竭力强调定期检测和维护的重要性。油气长输管道使用单位必须遵守相关法律法规，严格落实检测维护工作，避免追究责任或罚款等风险。

综上所述，针对油气长输管道防腐保护领域，定期检测和维护是确保管道安全、经济、法律合规的必要手段。

4 总结

综上所述，油气长输管道保护对于保障油气输送安全非常重要，因此，我们要加强油气输送管道防腐与防护工作。为保证油气长输管道的保护效果，可以考虑几种方式结合，提高管道保护的效率，保障油气输送安全。

参考文献：

[1]汪海波,柴捷,闫定弘,裴蕾,唐宇,刘金玲,李文付,周子剑.长输油气管道环境敏感区管理信息化[J].油气田环境保护,2023,33(01):59-62.

[2]王宇.油气长输管道腐蚀问题与阴极保护防腐技术措施研究[J].全面腐蚀控制,2022,36(11):115-116.DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2022.11.115.02.

[3]张立韧.输油气管道腐蚀的防治策略[J].全面腐蚀控制,2022,36(11):125-126.DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2022.11.125.02.

[4]马贵利,刘海峰,彭磊,王浩,魏群坤,袁豹,何炆忆,陈彬源.长输油气管道智慧化管理的应用及发展趋势[J].天然气技术与经济,2022,16(05):45-49.

[5]张富胜,薛春,孙伟栋,袁龙春.长输油气管道的定期检验探讨[J].山东化工,2022,51(20):149-150.DOI:10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2022.20.038.