

石油化工管道腐蚀原因分析及防腐蚀技术改进探讨

杜柏龙（中海油气（泰州）石化有限公司，江苏 泰州 225300）

摘要：伴随各类石油资源需求量的不断增长，石油长输管线的建设也在不断扩张，做好石油化工管道的防腐工作成为石油长输管线建设施工中的一项艰巨任务。加强石油化工管道的防腐措施，是保障石油资源安全运输的重要前提，对减少资源浪费，维护正常的生产生活至关重要。基于此，文章首先对石油化工管道腐蚀的原因进行了分析，进而具体探讨石油化工管道防腐蚀技术的具体应用措施，从而为石油化工产业持续健康发展提供参考。

关键词：石油化工管道；防腐蚀技术；涂层；材料；应用；改进

0 引言

现阶段，我国石油资源的运输主要是以管道运输为主，比较常见的石油化工管道为钢制管道，钢制管道受到多种因素的影响，易出现管道腐蚀问题，造成石油产品泄露、资源浪费。有关部门要加强对导致石油化工管道腐蚀的相关因素进行分析，针对具体情况，科学运用各种防腐蚀技术，加强对技术的改进和升级，最大程度提升石油化工管道的安全性，为石油资源安全稳定运输提供保障。

1 石油化工管道腐蚀的原因

1.1 化学腐蚀



图 1 化学腐蚀图

石油化工管道的材质以金属为主，出现化学腐蚀的主要原因是金属管道在不同介质中发生了化学反应，从而出现管道腐蚀情况，比较常见的几种化学腐蚀包括酸性腐蚀、碱性腐蚀以及盐水腐蚀等。其中，酸性腐蚀是指金属管道在酸性介质中，由于金属管道表面存在大量的阳离子，而酸性介质中酸分子的氢离子会形成酸性较强的溶剂，当金属管道处于这种环境中时，会发生化学反应、在金属管道表面形成离子类复合物，导致管道出现腐蚀。碱性腐蚀的发生主要是

指石油化工管道处于碱性类的介质中时，环境中会存在大量的氢氧根离子，同样会与金属管道表面的阳离子进行结合，破坏了管道表面的稳定性，导致管道发生腐蚀。盐水腐蚀主要是指石油化工管道长时间的浸泡在盐水中，会导致管道表面慢慢形成一层厚厚的盐层，能够进一步加快管道的腐蚀速度^[1]。图 1 是化学腐蚀图。

1.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀同样是造成石油化工管道腐蚀的关键性因素。金属材质的石油化工管道其表面具有较强的吸附能力，大部分石油化工管道埋藏于地下，而地下的土壤环境是潮湿的，这就会让处于地下管道容易造成产生电化学反应，由此可见，石油化工管道本身的运营环境，为电化学反应的发生创造了基本的条件，从而导致石油化工管道出现电化学腐蚀的问题。比如，在石油化工管道处于地下工作状态时，管道中的铁元素在电化学反应的过程中会产生大量的铁离子，这些铁离子在管道的表面处于游离的状态，而当这些游离的铁离子接触到管道表面的水膜时，就会通过氧化反应在管道表面形成红褐色的铁锈，铁锈附着在管道表面不仅会加快管道的腐蚀，也会给石油化工管道的运输安全埋下隐患。

1.3 微生物腐蚀

微生物腐蚀属于石油化工管道腐蚀中比较常见的一种，石油化工管道运行的过程中，其运行环境中的细菌、真菌等各类微生物会在管道表面附着，能够持续对管道表面的稳定性进行影响，久而久之会破坏石油化工管道表面的稳定性，导致出现管道腐蚀的问题。通过对以往石油化工管道腐蚀情况的调查数据显示（表 1），大约有三层的腐蚀都是属于微生物腐蚀，可见，在石油化工管道运输的过程中，微生物腐蚀是影响其

安全性的关键因素，长久下去影响石油化工管道的正常功能，导致在其运输过程中出现渗漏的情况。

表 1 石油化工管道腐蚀原因占比数据调查表

腐蚀原因	占比 (%)
化学腐蚀	38
电化学腐蚀	27
微生物腐蚀	35

2 石油化工管道防腐蚀技术的改进措施

2.1 石油管道材料的改进

金属管道自身的因素也是造成石油化工管道腐蚀的关键性因素，在进行石油化工管道防腐蚀技术的改进过程中，可以从石油管道材质的优化与升级入手，对石油化工管道进行表面钝化处理，增强管道表面的稳定性，从而使其具有较高的抗腐蚀性。表面钝化是现阶段有效增强金属材质的耐腐蚀性的一种方法，通过对金属材质进行表面钝化，能够在很大程度上提升其在原油中的耐腐蚀性，表面钝化实质上就是通过有效的处理手段，使金属材料的表面能够形成一层具有较高热稳定性以及优异化学性质的保护性氧化膜，以此实现提升金属材料的抗氧化性能。

在具体的处理中，可以通过在金属材料中添加一定浓度的元素，使其与金属材料表面发生氧化反应，从而形成稳定性高的氧化皮，对石油化工管道进行保护，抑制石油产品在运输过程中对管道的腐蚀。可以利用金属合金化原理，对传统的石油化工管道的材质进行升级与改进，使传统的钢制材料转变为一种稳定性更高的合金材料。比如，可以添加 Mg 元素或者 Ca 元素等，让石油化工管道表面能够发生表面钝化，形成较为稳定的氧化皮。在进行管道表面钝化处理时，关于元素添加的比例配置，需要经过多次实验来确定，最终综合多方面因素，选择最合理的比例，能够让石油化工管道的表面钝化处理达到最佳效果，形成耐腐蚀性更强的石油化工管道材料。

另外可以根据具体腐蚀情况，更换管道材料。比如，泰州石化 112-A301A/B 工位 SYL-6XS 工艺介质情况：介质为冷焦水，冷焦水里含有弱酸性物质 H₂S，同时据泰州石化告知冷焦水里还含有 CL- ≤ 43mg/L，进口介质温度 120℃，出口 50℃。预冷段介质温度较高，H₂S 酸腐蚀性较强，因此预冷段会出现泄漏。从现场泄漏点观察，属于管内腐蚀，从现场工况和腐蚀原因综合考虑，把预冷段 20# 钢换热管和 U 型孔板更换为 316L 材质的，既可以防弱酸腐蚀，也可以防止 CL- ≤ 43mg/L 的应力腐蚀、孔蚀、晶间腐蚀。

2.2 缓蚀剂防腐技术

石油化工管道的防腐蚀技术应用中，缓蚀剂防腐技术相对而言操作简单，缓蚀剂也是一种重要的防腐材料。在石油化工产业的发展过程中，为了能够有效的保障石油运输过程的安全，降低因石油化工管道腐蚀问题而产生的石油资源渗漏的情况发生，通常在进行石油资源的运输时会在石油中加入缓蚀剂，以此实现有效规避石油化工管道的腐蚀。缓蚀剂属于一种经济型的防腐材料，具有成本低的特点，在石油中添加缓蚀剂，既可以起到一定程度的抑制石油化工管道腐蚀的效果，又不会给石油运输增加较大的成本，因此缓蚀剂防腐技术在石油化工领域得到广泛应用。然而，缓蚀剂防腐技术在应用的过程中也存在一些弊端，会对后期的石油化工管道维护工作造成影响。究其原因，主要是石油化工管道本身在材料的构成成分分析上来看，相对复杂，如果只是添加一种缓蚀剂，无法兼顾管道复杂成分的防腐需求，通常是添加一种缓蚀剂只能有效的抑制单一性金属材料的腐蚀，无法确保石油化工管道材料中所有的金属成分都能得到很好的防腐效果^[2]。

2.3 涂层防腐蚀技术

涂层防腐技术主要是在石油化工管道的表面涂上一层耐腐蚀的保护膜，能够有效隔绝外界环境中腐蚀因子与管道的接触，从而起到保护石油化工管道的效果。就目前石油化工管道防腐处理中涂层防腐技术的应用情况来看，根据涂层的不同具体可以分为以下几种。

2.3.1 PEP 涂层

这是一种质地轻薄并且具有较高硬度的涂层材料，在钢材质的石油化工管道的表面具有很强的粘结力，使石油化工管道表面具有极高的耐腐蚀性。如果在石油化工管道的防腐处理中应用 PEP 涂层防腐技术，其适应的温度通常在 60℃ 到 100℃ 之间，因此可以在昼夜温差较大的地区的石油化工管道施工中应用。此外，PEP 涂层虽然在耐土壤应力以及阴极剥蚀性等方面具有很强的性能，但因其在材质层面比较轻薄，对外力的抵抗性能较低，受到外力时很容易出现损伤，一旦涂层损伤，裸露在外的管道就会发生腐蚀。

2.3.2 石油沥青涂层

石油沥青也是石油化工管道涂层防腐技术中比较常见的一种涂层材料，其具有较强的热塑性能，在具体的应用环境中，伴随环境温度的提升，石油沥青涂层自身的可塑性也会不断提升，直到环境温度达到了石油沥青涂层的软化点后，此时附着在石油化工管道

外部的石油沥青涂层就会因软化而产生流动。虽然石油沥青涂层具有较高的热塑性，但是其自身的穿透力也相对较强，如果环境中存在大量的微生物，很有可能会出现微生物穿透石油沥青涂层对石油化工管道进行腐蚀。为进一步提升石油沥青涂层防腐技术的应用效果，相关技术人员要加强对该防腐技术的改进研究，比如，将石油沥青涂层经过工艺处理，使其成为石油沥青缠带，不会改变石油沥青涂层材料原有的性能，还能进一步强化其抗软化性能以及防水性能，让石油沥青涂层在实际应用中具有更强的韧性。

2.3.3 无机非金属防腐涂层

无机非金属防腐涂层是现阶段在石油化工管道防腐施工中应用比较广泛的一种新型涂层，其具有较强的耐氧化性能、抗腐蚀性能以及耐高温性能等，可以起到对石油化工管道良好的防腐保护效果。就目前无机非金属防腐涂层的应用情况来看，最常见的包括搪瓷涂层以及玻璃涂层这两种，两种涂层相比之下，在具体的应用中搪瓷涂层对于石油化工管道的防腐保护效果要更好一些。玻璃涂层也有其自身的优势，比如具有较高的耐磨性和密封性，通常会将玻璃涂层应用到石油化工管道的内壁防腐施工中。伴随现阶段科技的不断发展与进步，陶瓷涂层的工艺也在不断的升级，使陶瓷涂层能够在恶劣的外界环境中仍然拥有较为稳定的化学特征，可以使其更好的保护石油化工管道在恶劣环境中的安全运行，防止出现管道腐蚀的情况。

2.3.4 煤焦油瓷漆涂层

煤焦油瓷漆涂层可以说是石油沥青涂层的一款升级产品，与石油沥青涂层相比，煤焦油瓷漆涂层在黏性、抗微生物腐蚀性、绝缘性、抗穿透性等方面的能力要更优，而且该涂层自身的吸水率相对较低，使用寿命较长，最长可以达到 60 年。但是煤焦油瓷器涂层也有其自身的不足之处，比如该图层对温度十分敏感，当环境达到一定温度时，会使其产生一些有害的物质，对周围的环境、居民的生活等都会造成较大的影响。因此，在具体应用中需要结合具体情况，严格按照相关标准来使用，既可以实现对石油化工管道的保护，又能降低对环境的危害。

2.4 阴极保护防腐技术的应用

阴极保护防腐技术在石油化工管道防腐施工中的应用，主要解决的就是石油化工管道的电化学腐蚀问题，在具体的实践应用中，阴极保护防腐技术的应用原理主要是借助阴极保护的形式，防止阴极材料腐蚀，

这就需要采用比管道金属材料活泼的金属作为主要材料，当石油化工管道周围环境中发生电化学反应时，活泼型的金属会优于管道金属材料与之发生反应，从而实现有效避免石油化工管道发生电化学反应，减少因电化学反应而造成的管道腐蚀。为进一步提升阴极保护防腐技术的应用效果，要求相关工作人员能够结合石油化工管道的实际情况，科学选择材料，并结合周围环境设计符合要求的阳极系统，也可以实时观察反应情况，结合具体的反映情况及时调整、更换阳极系统，从而最大程度的提升对石油化工管道的防腐保护效果。

阴极保护方法主要分为两种，一种是牺牲阳极来实现对阴极的保护，该种方法中选择的材料要确保成本低廉、效果显著，目前主要用到的牺牲阳极材料包括锌基合金、铝基合金以及镁基合金等。另一种则是通过外加电流的方式进行阴极的保护，此种方法主要是通过将被保护的金属材质管道与外加直流电源相连接，并在电源的正极位置连接辅助阳极，这样就能使被保护的金属材质管道成为被保护的阴极，防止管道发生化学反应而发生腐蚀情况。在选择阴极保护的方法时也需要结合具体情况，选择效果好且成本低、操作便捷的方法，最大程度提升石油化工管道防腐施工效果。

3 结束语

综上所述，加强石油化工管道防腐蚀技术应用与改进的研究，是当前石油化工产业持续稳定发展的必然之举。从当前石油化工管道腐蚀情况分析来看，主要的腐蚀原因包括化学腐蚀、电化学腐蚀以及微生物腐蚀等，在进行石油化工管道建设施工的过程中，要针对具体情况，采用管道材料的升级改造、缓蚀剂防腐技术的应用以及涂层防腐、阴极保护防腐技术等的应用，有效防止石油化工管道被腐蚀，提升石油化工管道运输安全。

参考文献：

- [1] 易顶珍 . 石油化工管道防腐蚀技术的应用和改进研究 [J]. 中国设备工程 ,2023(15):174-177.
- [2] 于立才 . 石油管道化工防腐的安全技术探讨 [J]. 中国设备工程 ,2023(07):225-227.

作者简介：

杜柏龙（1990-），男，毕业于辽宁石油化工大学，本科学历，工程师，从事设备的日常管理和维护优化工作。