

# 油气储运中管道防腐工艺设计和使用研究

李智博（中国石化海南炼油化工有限公司，海南 洋浦 578101）

**摘要：**近年来，国内经济水平不断提升，带动各个行业实现技术创新改良的同时反推经济持续增长，而不同行业的生产工作均强调能源方面的稳定供给。现阶段，国际竞争工作在实际推进当中，让各国越发重视能源的生产及供给情况，而石油与天然气属于现阶段国内最为重要的两类能源资源，为各个行业提供发展支持的同时，可满足群众日常生活中所产生的各类资源需求。由此，本文对油气储存及运输当中所用到的管道防腐工艺设计方案及其使用要点展开研究，以此来为后续研究提供协助。

**关键词：**油气运输；管道防腐；工艺设计；技术应用

中图分类号：TE988.2 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）019-0135-03

## Study on pipeline anticorrosion process in oil and gas storage and transportation

Li Zhibo (Sinopec Hainan Refining & Chemical Co., LTD., Yangpu Hainan 578101, China)

**Abstract:** In recent years, the domestic economic level has been continuously improved, driving various industries to achieve technological innovation and improvement, and at the same time to promote the sustained economic growth, and the production work of different industries all emphasize the stable supply of energy. At the present stage, in the actual promotion of international competition, countries pay more and more attention to the production and supply of energy. Oil and natural gas are the two most important energy resources in China at the present stage. While providing development support for various industries, they can meet the needs of various resources generated in people's daily life. Therefore, this paper studies the pipeline anticorrosion process design scheme and its use points used in the oil and gas storage and transportation, so as to provide assistance for the subsequent research.

**Keywords:** oil and gas transportation; pipeline anti-corrosion; process design; technology application

对国内油气资源实际分布情况进行分析能够发现，尽管整体油气资源储量丰富，但受能源分布不均等因素的影响，相关工作者在生产方面强调运输及存储工作的整体推进效果。而管道作为能源储运的载体，本身便承担着能源调度工作的重任，要求相关工作者针对管道运输当中常见的管道腐蚀现象加以管控，通过调整油气存储运输当中的各类问题，来调控防腐工艺整体应用效果，以此来带动油气存储工作得以顺利推进，带动国内能源事业向着更为完善的方向进步。

### 1 造成油气储运中管道腐蚀的原因

#### 1.1 介质因素

相关工作者在推进油气资源运输及存储方面的工时，需要根据管道内常见元素进行管道防腐性能调整，而原油中富含碳、氢、硫、氮、氧、氯等元素以及多种类型的金属离子，而非碳氢元素化学稳定性偏低，在储运当中极易因接触到各类介质而出现化学反应并对管道造成腐蚀。油气输送过程中水分可能以液态或气态的形式存在于管道内，当水分以液态形式附着在管道内壁时容易与管道金属表面形成电解质溶液，进而加快金属的电化学腐蚀过程。金属在电解质溶液中会发生氧化还原反应，金属原子失去电子变成金属离子进入溶液，而电子则通过金属本体流向溶液中的其他物质最终对管道进行溶解，此时管道整体表

现为管道壁逐渐变薄并引发腐蚀穿孔的现象<sup>[1]</sup>。

氧气本身具有较强的氧化作用，可与金属发生化学反应并生成金属氧化物，油气储运管道中若出现油气内携带氧气的情况，则氧气会与管道金属表面接触并发生氧化反应。尤其在管道内存在水分子的情况下这类氧化速度会进一步提升，而金属表面的氧化层在一定程度上可以起到保护作用，但当氧化层被破坏或氧气持续存在时氧化反应会不断进行，此时管道内氧化层会不断剥落造成管道变薄。而油气内携带的各类杂质也会在流动状态下对管道内壁造成冲击，并且介质流动速度越快此时管道内腐蚀速度也会随之加快，若缺乏实质性管道管理则会引起油气泄露等问题。二氧化碳与氧气可同时出现于油气当中，由于二氧化碳溶于水后会形成碳酸，这类物质本身具备一定腐蚀性且可与金属之间发生化学反应并诱发腐蚀现象。对管道内壁整体状态进行分析可发现，部分碳酸会与管道金属表面的金属离子结合形成碳酸盐沉淀，这些碳酸盐沉淀在一定程度上可为管道内壁提供保护，但若当前碳酸浓度过高则会损坏保护层使管道金属层继续暴露在腐蚀环境中。

#### 1.2 温度及施工因素

对油气运输管道进行分析可以发现，管道内温度变化情况会改变介质的物理化学性质进而影响腐蚀的

进程,当温度升高时介质活性增强,此时化学反应速率相对较快,此时较高的温度会使油气中的水分、氧气、二氧化碳等腐蚀性介质与管道金属发生强烈反应。其中相对具有代表性的便是温度升高会促进金属的氧化反应,增速金属离子溶解而导致管道壁逐渐变薄。高温还会降低金属的耐蚀性,使金属表面保护膜更容易被破坏,并且金属表面的钝化膜在高温下容易出现溶解甚至破裂的现象,进而丧失隔离及保护作用并加剧腐蚀现象<sup>[2]</sup>。

管道在运行过程中由于介质温度的变化,在部分情况下可能出现热胀冷缩的现象,此时管道内部会产生一定应力,若应力超过金属疲劳度则会导致金属发生变形或开裂,这些变形开裂部位会成为腐蚀起始点并加速管道的整体腐蚀速度。而温度波动情况还会对管道内流体流动状态带来直接影响,其中相对具有代表性的便是温度变动致使流体粘度密度等物理性质发生改变,此时流体速度与流态的稳定性也会出现波动,对管道内壁造成直接冲刷的同时破坏金属表面保护膜,此时管道内金属壁会直接暴露在腐蚀介质之中增加腐蚀风险。

各类施工因素同样是引发油气储运管道腐蚀的重要原因,若当前所选用管材质量不佳,其化学成分、组织结构等不符合要求,则管道本身的耐腐蚀性能也会随之下降。如果施工过程中出现气孔、夹渣、未焊透等焊接缺陷,则此时管道内部完整性会随之下降,进而形成应力及重点并改变当前区域内金属的局部点位,加速电化学腐蚀进度。焊接工作本身会产生热影响区,其组织结构和性能与母材不同且耐腐蚀性能存在偏差,若焊接工艺选用不当则热影响区范围会进一步增加腐蚀风险。前期施工当中技术人员多采用喷涂防腐层的方式帮助管道规避腐蚀现象,若涂层存在厚度不均匀以及喷涂针孔等缺陷则腐蚀介质容易穿透涂层与管道金属接触最终引发腐蚀。并且防腐涂层本身的粘结力在一定程度上也可影响当前管道稳定性,如果出现粘结力不达标的情况则涂层容易脱落,进而丧失对管道的整体保护作用<sup>[3]</sup>。

## 2 油气储运中输油管道防腐工艺的设计与应用

### 2.1 管道涂层防腐

管道涂层防腐是影响油气储运管道防腐效果的关键,推进管道涂层防腐工作时首先需关注涂层材料的整体筛选效果,由于涂层材料性能可直接决定防腐效果优劣程度,因此应针对性调整涂层材料的耐化学腐蚀性。输油管道输送的介质成分复杂且含有各种腐蚀性物质,其中相对常见的便是水分、氧气、二氧化碳、硫化氢以及盐类等,涂层材料需要达到不被这类物质

侵蚀的程度,以规避因溶解、渗透或发生化学反应而失去保护作用<sup>[4]</sup>。涂层材料应具有良好的耐候性,对各类恶劣环境进行分析可得,高温环境下涂层不能发生软化、流淌或分解现象;而在低温环境下涂层不能变脆开裂,配合调整涂层材料机械性能来适应管道在运行过程中的热胀冷缩变形现象,避免涂层因应力作用而开裂。

而涂层所选施工工艺也属于管道涂层防腐处理的一项管控重点,相关工作者在推进这方面工作时需配合预处理充分清除管道表面的油污、铁锈、氧化皮等杂质,避免对涂层与管道表面的粘结力造成损害。具体工作中可利用喷砂、抛丸等方法对管道表面进行处理,使管道表面达到一定的粗糙度以增加涂层与管道表面的接触面积。涂层施工过程中要严格控制施工环境的温度、湿度等条件,减少涂层表面出现气泡针孔等缺陷。不同涂层材料在实际应用当中会对喷涂方式提出一定要求,相关工作者应根据涂层材料特性和管道实际情况选择相对合适的施工方案。

涂层施工完成后需要对涂层的质量进行全面检测,通过检测涂层厚度是否符合设计要求的方式来评估管道后续防腐蚀效果是否达标,具体工作方面可采用涂层测厚仪等设备进行测量。之后还需要检查当前涂层的整体粘结力,可利用划格试验来评估涂层与管道表面的粘结牢固程度。针对涂层完整性监测方面则需要评估当前涂层表面是否存在气孔、针孔以及裂纹等缺陷,操作方面可采用电火花检漏仪等设备完成检测。而管道正式投入使用后,管道涂层也会因各类问题而出现剥落受损等现象,其中相对具有代表性的便是机械性损伤与自然老化现象,这便需要相关工作者定期对涂层开展检修维护。针对轻度受损区域可采用局部修补的方法,对损坏部位进行清理和重新涂装;对于重度受损的区域则需要对整个涂层进行重新涂装,配合建立涂层维护档案的方式记录涂层施工时间、质量检测结果、维护情况等信息,以便对涂层的性能进行评估预测<sup>[5]</sup>。

### 2.2 耐蚀材料防护技术

为达成油气资源稳定输送的工作标准,帮助管道在长时间内保持安全运行状态,则需要相关工作者根据防腐要求科学筛选防腐材料,不但要考虑流体介质的使用方案及环境要求,还应考虑材料结构、整体性质与实际应用中可能出现的物理化学变化。从耐蚀材料的种类来看,金属材料中一些合金钢具有较好的耐蚀性,生产方可通过在普通钢材中添加特定合金元素的方式改变钢材自身结构及其性能,而合金元素可在金属表面形成一层相对致密的氧化膜以阻止氧气、水

分和其他腐蚀性介质与金属基体之间接触，以此来减缓腐蚀现象的发生速度。部分合金元素在实际应用当中还可提升金属的电极点位，降低金属在电化学腐蚀中的活性以拉高金属发生腐蚀现象的各项要求。除合金钢之外，铜、铝等有色金属及其合金也具有一定的耐蚀性，这类材料的表面可自然形成一层稳定的氧化膜，因此在部分特殊油气储运环境中可以作为输油管道的备选材料。材料管控方面可选择9%至13%铬的铁素体不锈钢管，在二氧化碳和Cl<sup>-</sup>共存的条件下选择22%~25%铬的锰镍不锈钢油气井管和套管以提高耐腐蚀性。

非金属耐蚀材料同样可用于输油管道防腐运输当中，其中相对具有代表性的便是陶瓷材料，其化学稳定性高能够抵抗大多数酸碱盐等腐蚀性介质的侵蚀，并且陶瓷材料硬度高可承受一定的摩擦冲击，以此来减少管道在运行过程中产生的磨损。聚乙烯、聚丙烯等塑料材料常用于输油管道防腐，与常规材料相比塑料材料具有良好的耐化学腐蚀性及绝缘性，可以制成防腐涂层或防护层包裹在管道表面起到隔离腐蚀介质的作用。而玻璃纤维及相关制品的强度与钢材相当，抗腐蚀性达标的同时可实现相对保温，近年来国内外大型油田选择将玻璃纤维增强塑料管道用于防腐管线设置当中，而玻璃钢管则被用于防腐管道、储罐油箱等设置当中，以此来多方位规避存储区域及管道内部出现腐蚀现象的概率。

### 2.3 应用缓蚀剂

从缓蚀剂的作用原理来看，主要包括吸附作用、成膜作用和电化学作用。吸附作用是指缓蚀剂分子通过物理或化学吸附的方式附着在金属表面。物理吸附通常是基于分子间的范德华力，这种吸附相对较弱但能快速在金属表面形成一层初步的保护膜；而化学吸附则是缓蚀剂分子与金属表面原子发生化学反应形成化学键，这类吸附方式更为牢固持久，利用吸附作用缓蚀剂可以占据金属表面的活性位点，避免腐蚀介质与金属之间产生直接接触从而降低腐蚀的发生概率。从材料上来看，使用过氧化膜型缓蚀剂的金属表面可生成薄而致密的保护性氧化膜，铬酸盐与亚硝酸盐等物质均可作为氧化膜型缓蚀剂。相关工作者在使用氧化膜型缓蚀剂的过程中要注意管控输送介质的流速、温度以及介质中氯离子含量对氧化膜所造成的影响。沉淀膜型缓蚀剂在实际使用当中可以与水中某些离子和管道中腐蚀下来的金属离子相互结合并沉淀在金属的表面上，形成一层难溶的表面络合物，以此来规避管道内部出现持续性腐蚀现象。其中相对具有代表性的便是锌盐为例，它在阴极部位产生Zn(OH)<sub>2</sub>沉淀

可达成保护膜的处理作用，并且沉淀膜型缓蚀剂与金属之间并不会直接结合，而是以多孔状态实现附着，因此整体抗腐蚀效果要低于氧化膜缓蚀剂<sup>[6-9]</sup>。

缓蚀剂的应用方式相对多样，其中应用范围较广的方式为直接注入法，即将缓蚀剂直接注入到输油管道内的介质中。这种方式适用于管道内介质流动的情况，缓蚀剂能够随着介质流动均匀地分布在管道内壁形成保护膜，因此整体有着操作简便且可在短时间内发挥缓蚀作用的优势。但是在实际当中需要定期补充缓蚀剂以维持其在介质中的有效浓度。涂覆法同样被广泛应用于输油管道防腐蚀处理当中，通过将缓蚀剂与涂料混合的方式将其涂覆在管道表面。这类方式在实际应用当中可将缓蚀剂与管道表面紧密结合以形成长效防护层，整体有着缓蚀效果持久的优势但工艺要求较高。浸泡法也属于目前管道防腐蚀处理当中的典型技术，通过将管道部件浸泡在含有缓蚀剂的溶液中使缓蚀剂在部件表面形成保护膜，因此更适用于一些小型的管道部件或需要进行预处理的管道处理当中。

### 3 结语

综上所述，在对油气储运中管道防腐工艺设计和使用进行研究时，可以从应用缓蚀剂、耐蚀材料防护技术以及管道涂层防腐等几个方面进行，延长管道使用寿命，为相关油气生产企业赢取更多的社会和经济效益。

#### 参考文献：

- [1] 刘浩宇.油气储运中管道防腐工艺设计和使用[J].当代化工研究,2023(02):165-167.
- [2] 杨颜璐.油气储运中管道防腐工艺设计与应用[J].石化技术,2022,29(08):63-65.
- [3] 李千,张斌,勇乐,等.油气储运中管道防腐工艺设计与应用研究[J].清洗世界,2022,38(07):86-88.
- [4] 张秀静.油气储运中管道防腐工艺设计与应用[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(02):160-162.
- [5] 倪大兆,徐颖,钱波,等.油气储运中管道防腐工艺设计与应用[J].能源技术与管理,2021,46(05):116-118.
- [6] 范丽洁.油气储运中管道防腐工艺设计与应用[J].化工设计通讯,2021,47(05):91-92.
- [7] 王建军,张宏,刘强.油气管道腐蚀机理及防护技术研究进展[J].腐蚀科学与防护技术,2021,33(4):421-428.
- [8] 陈刚,李胜利,高鹏.高温高压环境下油气管道耐蚀合金选材与涂层优化[J].材料工程,2022,50(8):112-120.
- [9] 黄毅,马瑞,郑晓东.油气管道3PE防腐层失效机制及修复技术[J].表面技术,2021,50(6):205-214.