

# 油气储运中长输天然气管道防腐工艺探讨

任俊操（保定中石油昆仑能源有限公司，河北 保定 071023）

**摘要：**管道是油气储运的重要媒介，会对油气储运效率和安全产生直接影响。近年来，油气管道工艺技术日趋成熟，但受外部环境、运输介质等一系列因素的综合影响，容易出现管道腐蚀问题，不但泄漏大量的油气资源，还可能引发火灾、爆炸等事故。针对这种情况，要认真分析总结油气储运管道腐蚀问题的影响因素，采取先进的防腐工艺，提升储运管道施工质量。本文对分析了油气储运期间长输天然气管道腐蚀病害的形成机理，总结腐蚀病害出现规律，阐述了油气储运中长输天然气管道防腐工艺，并提出了补充措施，旨在保证油气储运管道的安全。

**关键词：**油气储运；长输天然气管道；防腐工艺

中图分类号：TE88 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 027-0163-03

## Discussion on anti-corrosion technology for long-distance natural gas pipelines in oil and gas storage and transportation

Ren Juncao (Baoding PetroChina Kunlun Energy Co., Ltd., Baoding Hebei 071023, China)

**Abstract:** Pipeline is an important medium for oil and gas storage and transportation, which will have a direct impact on the efficiency and safety of oil and gas storage and transportation. In recent years, the process technology of oil and gas pipelines has become increasingly mature. However, due to a series of factors such as external environment and transportation medium, pipeline corrosion problems are prone to occur, which not only leaks a large amount of oil and gas resources, but also may cause accidents such as fires and explosions. **Keywords:** Oil and gas storage and transportation; Long distance natural gas pipelines; Anti corrosion process

**Keywords:** oil and gas storage and transportation; long-distance natural gas pipelines; Anti-corrosion process

现阶段，长输天然气管道在内外部因素共同影响下，频繁出现腐蚀病害，管道结构老化速度加快，遭受严重破坏，致使内部介质向外泄露，极大威胁到油气储运安全。长输天然气腐蚀机理复杂，应采取合理的防腐工艺，从根本上解决管道的腐蚀问题，满足油气安全储运需求。

### 1 油气储运中长输天然气管道腐蚀机理

#### 1.1 土壤腐蚀

对于埋地铺设的长输天然气管道，管道外壁和支持装置等配件长期接触土壤环境，土壤本身含有一定的水分、盐分、氧气，以及氯离子等腐蚀性物质，管道金属表面持续进行电化学反应，逐渐出现表层氧化现象与腐蚀问题。随着时间推移，长输天然气管道腐蚀程度不断加剧，管道物理力学性能同步下滑，最终导致管道结构在内部介质压力作用下，出现开裂、变形等质量病害，内部介质向外泄露。根据实际情况来看，长输天然气管道腐蚀速率和周边土壤环境条件有着密切联系，土壤含水率越高、盐分浓度越高、杂散电流越大和氯离子含量越高，管道腐蚀速率越快，致使管道防腐涂层提前失效。

#### 1.2 气体成分腐蚀

空气中含有一定成分的腐蚀性物质，如硫化氢、

二氧化碳等酸性气体，长输天然气管道无论是露天铺设还是埋地铺设，都会长期接触空气，管道表面结构逐渐被气体成分侵蚀，持续进行化学反应，同步生成酸性物质，最终引起管道腐蚀病害。同时，天然气开采、输送期间，由于工艺操作不当，也会导致管道内部腐蚀性气体含量上升，与天然气所含水分进行反应、生成酸性物质，最终形成管道内壁结构、外壁结构均严重腐蚀的复杂局面。

#### 1.3 温度压力变化

长输天然气管道使用期间，外部环境对管道结构造成的影响包含温度变化、压力变化，外部环境条件的改变，一定程度上，会加快管道结构腐蚀速率。对于环境温度，无论是温度过高还是温度偏低，都会直接影响到管道金属材料工作性能及使用状态，温度过高会加快金属材料氧化速度，致使腐蚀速率升高，温度过低则会增加金属材料脆性，叠加内部介质压力，有概率引发裂纹、断裂等质量病害。对于工作压力，压力变化直接引起应力腐蚀问题，长输天然气管道长期维持较高压力水平，管道局部出现应力集中问题，更高概率形成腐蚀裂纹，内部结构暴露在外部恶劣环境当中，腐蚀速率加快，且腐蚀裂纹具备自我发育特征，裂缝宽度、深度持续增加，严重时导致管道结构

破裂渗漏。

#### 1.4 机械损伤

机械损伤问题可以理解为长输天然气管道遭受外力碰撞而间接引起的腐蚀病害。目前，在油气储运工程，长输天然气管道普遍具备防腐涂层体系，利用防腐涂层来隔绝外部环境，避免管道金属材料遭受严重腐蚀。然而，在长输天然气管道运输、下放沟槽和定位调整步骤，难免在管道表面出现机械损伤问题，常见问题包括划痕、撞击凹痕等，导致防腐涂层局部脱落，未能起到预期防腐保护效果，内部金属材料在外部环境侵蚀下，提前出现腐蚀病害。

### 2 油气储运中长输天然气管道防腐工艺

#### 2.1 管道本体涂层防腐

涂层防腐是长输天然气管道最为常用的防腐工艺，有着操作简单、防腐效果显著、稳定性强的优点，保持管道壁面洁净、光滑状态，管道表面直接涂刷单道或是多道防腐涂料，涂料本身含有缓蚀剂成分。涂料彻底固化后，即可形成具备防腐功效的保护层，通过隔绝外部环境腐蚀物质和管道金属材料直接接触，起到防腐效果。管道本体结构涂层防腐施工期间，重点掌握表面处理、涂抹涂层两道步骤的工艺要点。

第一，表面处理。管道表面状态和防腐涂层有效期限密切相关，表面处理效果越好，涂层与管道结构粘附力越高，可以推迟涂层失效时间到来。施工人员铲除管道表面氧化膜和附着物，同步去除裂片、焊接飞溅等物质，使用动力工具去除老旧油漆，要求在空气湿度低于85%、表面温度不超过3℃露点温度的情况下，处理管道表面。如果常规手段未能完全去除管道表面杂物，则采取化学溶剂清洗方法，利用化学溶剂来去除管道表面难溶解污渍。第二，涂抹涂层。全面检查管道表面处理效果，率先在焊缝、边缘、搭接处等特殊位置预先涂抹少量防腐涂料，分多次在管道表面涂刷防腐涂料，具体分为底漆层、中间漆层和面漆层，底漆层采取无气喷涂方式，中间漆层可采取有气喷涂或是无气喷涂方式，面漆层采取有气喷涂方式。严格控制各道涂层的间隔喷涂时间，上道涂层喷涂完毕后，等待8~12h，确认涂料完全固化后，继续喷涂下道涂层。要求现场环境温度维持在4~50℃区间，空气湿度禁止超过85%。

#### 2.2 环氧粉末静电喷涂

环氧粉末静电喷涂工艺简称为静电喷塑，利用压缩空气向管道表面喷涂环氧粉末，粉末喷射期间利用高压静电来形成空气电离层，粉末粒子带有电荷，管道金属材料具备相反电荷，基于静电力作用，使得环氧粉末粒子牢固附着在管道表面，形成防腐保护涂层，

通过隔绝外部环境腐蚀物质和管道结构相互接触，发挥防腐效果。相比普通防腐涂料，环氧粉末涂层不但具备良好防腐性能，有着厚度均匀、附着力强的优点，同时，还具备良好耐候性及机械性能，充分适应外部复杂环境，防腐保护期限有所增加。长输天然气管道环氧粉末静电喷涂施工期间，重点掌握表面处理、静电喷涂、高温固化三道步骤的工艺要点。

第一，表面处理。要求长输天然气管道表面保持洁净、干燥状态，清扫管道表面附着物，去除油渍及锈迹，并进行磷化、钝化处理，表面形成一层不易生锈的灰色磷化膜，既能延缓锈蚀问题出现，又能提高静电喷塑层附着力。

第二，静电喷涂。现场准备喷枪、气罐和环氧粉末，按照从上到下顺序，管道表面匀速喷射环氧粉末涂料，根据工艺试验结构来确定涂料用量、喷涂压力和喷涂速度。推荐采取双层涂层体系，管道表面依次喷涂底涂层和面涂层，随着涂层总体厚度增加，有助于强化耐磨性能与抗冲击性能。底涂层选用普通环氧粉末涂料，面涂层则选用改性环氧粉末涂料。

第三，高温固化。标准工艺强调把喷涂工件放置在高温炉内，200℃温度条件下持续烘烤15~20min。考虑到长输天然气管道并不具备炉内烘烤条件，应在施工现场准备喷灯，施工人员手持喷灯烘烤管道表层静电喷塑涂层，按照工艺试验结果来确定烘烤温度和烘烤时间。

#### 2.3 管道支撑防腐

在早期油气储运项目，以管道本体结构作为重点防腐对象，管道支撑部件防腐力度不足，未采取专项防腐措施，致使支撑部件严重腐蚀，承载性能有所下滑，进而引起管道偏位、错位、碰撞开裂等一系列问题。因此，必须面向管道支撑部件采取专项防腐工艺，按照支撑部件构造形式来选择防腐工艺。例如，对于马鞍型支撑面，推荐采取粘弹体防腐胶带+环氧复合玻钢护套+丙烯酸聚氨酯面漆的防腐体系，防腐胶带负责隔绝外部环境腐蚀介质，护套负责解决胶带局部应力集中问题。

现场施工期间，切割支撑架底座，打磨去除支撑面锈迹，直至金属表面除锈等级达到St3级，使用超声波检测仪环绕检测壁厚值。确认壁厚值减小幅度不超过10%后，表面涂抹一层防腐膏，保持平滑状态，填补凹陷坑洞等破损部位，紧密包裹一层粘弹体胶带，防腐胶带搭接宽度不得小于20mm，继续在胶带外侧缠绕绑扎玻璃钢复合材料作为护套，护套缠绕宽度必须大于防腐胶带宽度。等待24h，确认护套固化成型后，打磨护套表面并涂抹腻子，分多层涂刷防腐漆料，底

漆层、中间漆层和面漆层均涂刷 2 层。

## 2.4 法兰螺栓包裹防腐

油气储运期间，长输天然气管道法兰、螺栓部位出现严重腐蚀病害，问题根源在于，法兰间隙部位分布腐蚀介质，直接和外界水分及空气接触，由于自身缺乏保护膜，腐蚀速率远超带有防腐涂层的管道本体结构，致使节点连接强度下滑、节点密封效果弱化。因此，应把法兰螺栓部分作为防腐处理内容，可选防腐工艺众多，包括粘弹体包裹防腐、涂漆防腐、矿脂带防腐等。推荐采取粘弹体包裹防腐工艺，有着表面处理要求低、工作压力调节阀下游具备在线施工条件、预期寿命长的优点。现场施工期间，按照标准工艺处理法兰螺栓表面，完全去除锈迹、污渍，表面处理完毕 3h 内开展防腐作业，法兰间隙部位填满防腐剂，沿着圆周方向移动注胶，正上方缠绕包裹防腐胶带，末端搭接量控制在 100mm 左右，法兰两端管道搭接量控制在 150mm，要求胶带厚度不小于 2mm。继续在防腐胶带表面缠绕设置保护带，使用专用 PP 螺栓帽扣入螺栓，螺栓帽内同样填充防腐剂。

## 2.5 深井阳极防腐

深井阳极防腐工艺适用于早期建成的长输天然气管道，管道周边竖直摆放碳钢、石墨或是高硅铸铁作为阳极材料，接通外部电源，电解质环境内，阳极材料进行氧化反应，均匀释放电子和生成阳离子，电子迁移至长输天然气管道结构上，通过进行还原反应来抑制腐蚀问题出现。现场施工期间，重点掌握阳极安装、通电连接、测试保护电位三道环节的工艺要点。第一，阳极安装。长输天然气管道周边 50~100m 位置，修建多座直立式阳极地床，尽量修建在低洼潮湿地点，并体开挖成型后，内部按照从下到上顺序，分段安装、拼接阳极体，单组阳极体包含 2~3 支阳极，阳极固定安放在阳极井中心位置。阳极井和阳极间隔部位覆土回填，地面安装排气装置，井口盖设保护罩。第二，接通外部电源。站内部署电源设备，由控制台与 2 台恒电位仪组成，恒电位仪接入长输天然气管道，管道处于阴极被保护状态，各台恒电位仪均设置单个通电点。第三，测试保护电位。采取地表电位测试法，电源接通后，管道上方土壤表面部署参比电极，按照极化电位和贿赂全部电压降值来确定测试电位，判断长输天然气管道是否处在欠保护状态。

## 3 油气储运中长输天然气管道防腐工艺补充措施

### 3.1 补充防腐层检测内容

在早期油气储运项目，长输天然气管道防腐涂层体系成型后，仅对防腐层完整程度和涂层厚度进行检测，检测内容不全，未能真实了解外部环境影响下，

涂层长期防腐效果是否满足实际防腐要求，后续频繁出现涂层剥落、失效等问题，或是管道本身存在质量病害，从而削弱防腐保护效果，间接导致管道严重腐蚀。因此，为增强管道防腐质量控制能力，必须补充防腐层检测内容，新增检测项目包括电火花检漏、测试剥离强度、测试附着力、管体超声测厚、管体损伤评价。以电火花检漏方法为例，现场准备电火花检漏仪作为检测设备，基于涂层厚度检测结果，合理设定检漏电压值，逐点检查长输天然气管道防腐涂层是否存在漏点，准确找出防腐涂层中肉眼无法辨别的破损位置，后续在漏点位置补涂防腐涂料。

### 3.2 优选涂层体系

在各个油气储运项目，长输天然气管道的外部环境条件、腐蚀速率、防腐保护要求有着明显区别，完全照搬同类项目防腐工艺方案，并不能彻底满足实际防腐需求，长输天然气管道投运使用期间，有概率提前出现防腐涂层失效、管道严重腐蚀问题。同时，也有可能造成资源浪费，消耗过多防腐涂料，致使工程造价成本升高。因此，在防腐涂层工艺应用期间，必须全面收集项目资料信息，基于防腐保护需求来挑选涂层体系。例如，在某油气储运项目，长输天然气管道露天敷设，所处环境潮湿多雨，最终采取环氧富锌底漆 + 脂肪类聚氨酯面漆的防腐涂层体系，防腐涂层总体厚度为 325 μm，底漆层、中间漆层和面漆层的干膜厚度分别为 85 μm、150 μm 和 90 μm。

## 4 结语

综上所述，标准化制定长输天然气管道防腐工艺方案，更进一步强化管道防腐保护效果，是充分抵御外部环境侵蚀、保证油气储运安全的重要前提。施工单位理应提高对长输天然气管道防腐工艺的重视程度，把长输天然气管道连同法兰螺栓等配件一同作为防腐保护对象，组合采取多项防腐工艺，贯彻落实补充防腐层检测内容、优选涂层体系两项措施，持续健全长输天然气管道防腐体系。

### 参考文献：

- [1] 张昆宇. 长输天然气管道腐蚀的形成与防腐保护措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(01):31-33.
- [2] 陆畅弦. 长输天然气管道防腐补口施工内容控制探究 [J]. 南方农机, 2020, 51(02):229-230.
- [3] 安静, 王俊, 吴京洋. 长输管道防腐措施及施工要点探讨 [J]. 中国设备工程, 2023, (04):230-232.
- [4] 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.
- [5] 马启吉. 油气储运中管道科学防腐技术的应用 [J]. 化工管理, 2023, (11):66-69.