

# 石油天然气管道防腐施工技术

朱 梁 (国家管网集团西南管道有限责任公司, 贵州 贵阳 550000)

**摘要:** 为解决以石油天然气为代表的管道腐蚀问题, 保证管道完整性和经济效益, 减少资源浪费。本文将重点围绕石油天然气管道防腐施工技术开展分析。经分析, 管道在长期运行背景下, 会面临化学、微生物以及电化学三种腐蚀情况, 一旦产生腐蚀问题, 会影响管道使用功能, 甚至威胁管道安全。因此, 在施工过程中需优化防腐蚀技术运用, 通过阴极保护、涂刷防腐涂层、运用防腐抑菌剂以及电化学去除技术等形式, 增强管道自身耐腐蚀性能, 延长其应用寿命。

**关键词:** 石油天然气; 管道工程; 防腐技术

## 0 引言

石油天然气是我国经济发展与建设中的重要资源, 在输送方面对管道可靠性要求较高, 一旦管道受到内外环境影响, 出现严重腐蚀问题, 则难以运输材料, 并造成严重的资源损失, 甚至会对周围环境造成污染。因此, 在施工过程中, 工作人员需强化防腐技术运用, 通过技术强化管道耐腐蚀性能。但就实际情况而言, 我国部分石油天然气管道在防腐蚀方面依旧以传统涂层优化为主要方式, 单一的技术体系运用, 虽然可以提升耐腐蚀性能, 但无法保障使用年限。由此可见, 围绕石油天然气管道防腐施工技术开展研究具有关键意义, 是创新并拓展技术应用的基础。

## 1 石油天然气管道腐蚀类型

### 1.1 化学腐蚀

化学腐蚀是指管道在长期使用的过程中, 与空气中的化学物质产生反应, 从而引发腐蚀问题, 一般情况下属于化合物反应情况。当前大多数石油天然气管道都是源于化学腐蚀所产生漏点或断裂情况, 在与空气长期作用的过程中, 会与空气中的化合物产生作用, 例如  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{HCl}$  等。以上物质会长期依附在管道表面, 若是环境干燥, 则腐蚀较慢, 而若是管道直接处于自然环境, 湿度较高, 则会加快化学腐蚀。

### 1.2 微生物腐蚀

石油天然气管道内的微生物也是引发腐蚀问题的关键因素。其中微生物包含土壤中的细菌、真菌以及其他有机微生物。微生物在长期活动下会引发生物腐蚀。一般情况下, 此种腐蚀情况多源自埋地管道, 土壤内部微生物较多且活动频繁, 从而对管道造成腐蚀, 一般属于外壁腐蚀的一种, 这些微生物会依附在管道外侧, 通过点石等方式逐渐向内拓展, 从而造成管道穿孔等情况。

表 1 管道土壤腐蚀级别

腐蚀等级	严重	较严重	中	较轻	轻微
	5 级	4 级	3 级	2 级	1 级
土壤电阻率 ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	10 以内	10 至 20	20 至 50	50 至 100	100 以上

### 1.3 电化学腐蚀

在金属与电解质溶液接触的过程中, 便会引发电化学反应, 从而造成腐蚀问题。对于长距离输油以及输气管道而言, 需要在建设的过程中基于不同的地区地貌加以设计, 例如河流、沼泽等, 不同区域的电解质溶液含量不同, 若是在前期没有加以应对, 则会在湿度较高的影响下引发电化学腐蚀。在腐蚀之后, 金属管道会形成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 此物质硬度不足, 较为松软, 会与周围的电解质溶液吸附在一起, 从而引发更为严重的腐蚀作用。表 2 为管道腐蚀层修复材料选用情况。

表 2 管道腐蚀层修复材料选用情况

管道腐蚀层情况	补口修复材料	大范围修复材料
石油沥青	防护带与冷缠胶带	液体环氧 + 聚氨酯 + 冷缠胶带
液态环氧	黏弹体 + 外防护带、无液态环氧	
聚乙烯	聚乙烯与沥青防腐材料	聚乙烯与沥青防腐材料
聚氨酯泡沫	树脂与玻璃布	树脂与玻璃布 + 泡沫板壳

## 2 石油天然气管道防腐施工技术分析

### 2.1 阴极保护技术

#### 2.1.1 牺牲阳极保护

该技术是阴极保护体系中非常常见的一种技术形式, 可以有效地延缓石油天然气腐蚀速率。在技术运用的过程中, 会将更为活跃的技术材料与管道相关联。对于电化学腐蚀类型而言, 吸收氧极技术的使用可以确保新连接的材料优于管道产生反应, 从而通过代替腐蚀的方式延缓原有管道的腐蚀速率。一般情况下,

技术人员会基于实际情况选择镁、锌、铝等不同类别的代替材料，具体使用需视项目情况而定。牺牲阳极技术的最终成效主要依赖于前期材料的消耗情况以及管道与土壤之间的作用效果。合理的设计牺牲阳极体系可以进一步延长管道天然气应用寿命，降低成本损耗，保障材料输送有效性。但需要注意，此技术应定期的通过智能监测系统加以分析，确保在材料耗尽之前可以提前更换，从而延长保护成效。所以相比其他技术体系，新生阳极技术需要对材料以及工程加以研究，并持续优化后期管控。

### 2.1.2 电流强制保护

此基础属于阴极保护体系内容，可通过直接与外部直流电源相连接的方式增加管道区域的电流，从而控制管道电位。在原理方面，主要以该公式为基础，具体如下：

$$E = E_{cor} - \eta$$

其中 E 代表管道电位， $E_{cor}$  则是土壤腐蚀过程中的土壤电位， $\eta$  为管道当前运行过程中抗腐蚀所需的极化电位，具体指在抗腐蚀过程中应削弱的电位情况。在运用此种防腐蚀技术的过程中，关键在于如何调整并优化管道电位，从而使其达到标准范围低于腐蚀情况下的电位情况，这样便可以延缓腐蚀等问题的产生。在技术运用的过程中，会通过外部添加电源的方式精准控制电位，从而实现应急保护。但在技术运用过程中，工作人员需要基于极化电位合理调整，否则便会引发其他情况，例如氢脆等问题，不仅无法达到防腐效果，而且还会引发管道破裂等情况。在应用过程中，调节电位是应急保护的重点，应基于材料、土壤情况以及管道自身情况加以分析，并合理维护管道，进而削弱腐蚀风险。

## 2.2 涂刷防腐涂层

### 2.2.1 熔融包覆技术

熔融包覆是防腐涂层处理体系的技术内容，一般被用在外部防腐蚀处理。此技术是指运用热塑性材料，包括聚乙烯等，通过外部加热的方式使其呈现熔融状态，然后将其涂抹在管道外部。在涂抹的过程中，包覆材料会逐渐冷却，从而形成外部保护层，隔绝管道与空气之间的直接接触。防护层具有较强的稳定性和附着性，能够减少外部冲击以及化学腐蚀。需注意，此技术在运用的过程中要合理控制加热温度以及冷却速率，以此确保材料涂抹的均匀度，延长管道后续应用寿命。

### 2.2.2 热缩组合技术

热缩组合体系是指使用热敏聚合物材料完成涂层

设计，该材料在运用的过程中会逐渐收缩，并依附在管道外部，从而实现防腐。热缩材料一般包括热缩带和热缩套两种，需要借助辐射交联操作的方式先扩张，然后再冷却固定。在施工过程中，加热时应超出材料自身的记忆温度，这样才能够保障收缩情况，使其能够包裹住石油天然气管道，形成有效的隔绝层。此技术可减少化学与物理损伤，且能够满足各类管道需求，尤其是在弯头较多的环境下，能够实现无缝覆盖。但需要注意在技术运用过程中对质量管理的需求较高，应合理设计温度以及压力，通过调节的方式确保技术的防腐成效，减少风险问题的产生。

## 2.3 防腐抑菌剂技术

### 2.3.1 氧化还原技术

氧化还原材料的运用主要是通过抑菌效果减少防腐问题的产生，从原理的角度来看，是调整微生物的存在环境，然后营造良好的氧化还原条件，从而减少微生物，一般情况下，可通过还原抑菌剂的运用实现还原反应，从而减少微生物生长和繁殖量。在抑菌剂运用的过程中，抑菌剂会破坏细胞内部，从而影响其正常生理功能，导致其死亡。例如，当前部分技术人员便会使用抑菌剂破坏微生物内部细胞，导致细胞缺失，从而引发死亡。

### 2.3.2 代谢抑制技术

代谢抑制类别的抑菌剂在使用的过程中主要是对微生物代谢产生作用，从而影响其正常的生长和繁殖，减少管道腐蚀情况的产生。在原理的角度是破坏细胞活性，从而阻断其对营养的吸收。在抑菌剂运用的过程中会发生一系列反应，其中工作人员会通过增加酶的方式促进生物代谢，然后再使用抑菌剂抑制代谢，此时抑菌剂与酶便会形成酶抑制材料，进而抑制微生物正常活动，使其无法生长。此技术的运用成效依赖于能否精准辨别微生物类型。结合当前来看，不同的微生物在使用抑菌剂时也要进行针对性选择，通过深入了解其生物机理的方式，确保代谢抑制型抑菌剂能够精准抑制、降低管道腐蚀等问题的产生。

## 2.4 电化学去除技术

### 2.4.1 脉冲电流腐蚀控制

脉冲腐蚀抑制是指通过电流脉冲的引入延缓腐蚀情况的产生，其技术运用重点在于脉冲电流的控制与调整。一般情况下可基于以下原理加以调节：

$$I = IO \sin(\omega t)$$

其中 I 代表脉冲电流，IO 为电流最高值， $\omega$  为角频率，t 为时间。基于公式来看，脉冲电流会基于时间

的变动产生变化，因此工作人员可通过此公式合理调整脉冲电流强度。在技术运用的过程中，工作人员要将重点放在  $\omega$  以及 IO 的调节。由于在防腐蚀的过程中，需要使金属表面形成沉积层或抗氧化膜，从而防止管道与外部空气直接接触，因此可以通过调节以上两个参数控制抗氧化膜的产生速率，强化防腐成效。在脉冲间歇阶段，管道的电化学环境会不断修缮，从而进一步促进氧化膜的形成，强化管道抵抗效果。在参数控制的过程中，可优化电流特性，确保管道可完成充足的极化，从而规避过度激化所引发的其余问题。

#### 2.4.2 电解法

电解法在防腐处理中使用十分常见，主要是针对石油天然气管道增设电场，从而抑制腐蚀过程中的电化学反应。原理如下：



其中金属在失去电子之后会转化为对应的阳离子，电解过程中可以通过电场参数的调节影响此过程的腐蚀速率，使金属表面能够形成氧化膜以及沉积膜，进而规避腐蚀问题的产生。电解法运用过程中对电解系统的依赖度较强，需合理选择电极材料，优化配置，综合考虑多种因素，包括材料、温度以及管道性质等，确保参数调节的有效性，保障系统运行成效。

### 2.5 管道内壁防腐技术

#### 2.5.1 药剂内部防腐

对于石油天然气管道而言，除了外部增设防腐膜，内壁也可以通过化学药剂的使用强化防腐成效。一般内壁防护是指通过化学或物理反应影响腐蚀过程，一般情况下会使用到除氧剂或缓冲剂，其中前者可以去除管道内壁的溶解气体，保障材料的稳定性。在添加的过程中，管道会吸收内部氧气，进而减少氧化作用，降低腐蚀，而后的添加则会在内壁形成沉淀层，延缓内部腐蚀，强化防腐成效。

#### 2.5.2 内部镀层防腐

内涂层是指通过在管道内部喷涂惰性材料的方式实现金属隔离与保护。在内涂镀层技术运用的过程中，可有效强化石油天然气管道的应用效果，延长使用寿命。在使用过程中需关注以下几个方面：一是在喷涂的过程中应确保管道内部清洁，去除其余残留物，保持环境干燥以此确保防腐材料能够与内壁完全贴合，满足预期需要，二是若是管道内部产生了生锈问题，会影响石油天然气运输成效，所以在涂敷分层之后，需要保障涂层的光滑效果，以此确保管道安全，强化防腐效能。

### 2.6 排流技术与隔离技术

排流技术是指管道在使用的过程中，由于周围环境复杂，因此可能会产生杂散电流，以上电流会直接影响内部腐蚀速率，进而通过外部干扰与腐蚀的情况推动电化学等问题的形成。为了规避杂散电流对管道的影响，可以设计排流装置吸收此类电流，并借助智能监测体系的运用，实时监测是否存在杂散电流，有效安装排流装置。此技术在使用的过程中需要定期对管道进行维护，且在使用排流装置的过程中要合理调节排流线以及低电阻地床等设备，通过导线关联的方式强化排流效果。一般情况下，导线连接包括直接排流以及嵌位式排流等多种形式，具体需基于地理位置以及与周围高压设备距离情况加以分析。

隔离技术是指借助隔离介质将腐蚀性材料与管道相隔离，减少腐蚀问题的产生。一般情况下可使用气体、液体以及隔离膜片。不同类别在使用的过程中需注意，应确保隔离介质完全覆盖在管道内外壁，以此保障隔离效果。但由于隔离材料通常成本较高，操作专业度需求较强，因此此技术使用具有一定的局限性。当前，随着技术的不断发展，格力膜片被广泛使用在一线工程中，主要材料是聚四氟乙烯，可保障耐腐蚀效果。总而言之，管道腐蚀会严重影响石油天然气等材料的运输效果，甚至会因为强腐蚀作用导致管道出现穿孔等情况，引发资源浪费，加大运输成本。因此后续技术人员要加大防腐技术使用力度，综合运用技术类别，基于现场条件以及抗腐蚀需求调节管道点位、增设保护层，以此为延长管道应用寿命奠定基础。

### 3 结论

综上所述，对于石油天然气管道而言，在抗腐蚀处理的过程中，应创新并拓展技术应用，基于不同的腐蚀类型以及对环境和经济的影响状况，综合使用阴极保护、电化学以及抑菌剂等手段，延长管道服务寿命，保障资源安全。除此之外，在后续应探索新的技术材料，并强化智能监测技术运用，为管道长期应用奠定有力基础。

#### 参考文献：

- [1] 任立杰. 油气长输管道腐蚀监测技术与应用综述 [J]. 中国石油和化工, 2024, (10): 68-69.
- [2] 陈志坚. 暖通工程管道安装施工中通病及解决策略分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(09): 112-114.

#### 作者简介：

朱梁 (1988-), 汉族, 贵州贵阳人, 工程师, 研究方向: 长输油气管道运营管理。