

# 天然气管道建设中的腐蚀防护与检测技术探讨

董浩迪（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

**摘要：**天然气管道作为能源运输的重要方式，其安全性和可靠性至关重要。管道腐蚀是影响其长期运行的重要因素，腐蚀防护和检测技术的研究因此显得尤为重要。本文综述了当前天然气管道腐蚀防护的主要方法，包括阴极保护、涂层防护和腐蚀抑制剂等，同时探讨了先进的腐蚀检测技术，如超声波检测、磁粉检测和智能皮肤技术。通过对这些技术的对比分析，旨在为天然气管道的安全管理提供科学依据和技术支持。

**关键词：**天然气管道；腐蚀防护；阴极保护；涂层防护；腐蚀抑制剂；超声波检测

## 0 引言

天然气作为一种清洁高效的能源，在全球能源结构中占据重要地位。天然气管道是其主要的运输方式，管道的安全性和稳定性直接影响到天然气的供应。管道腐蚀是导致管道失效的主要原因之一，严重威胁着管道的运行安全。为了延长管道的使用寿命，确保其长期稳定运行，腐蚀防护和检测技术的研究与应用尤为重要。本文将系统介绍天然气管道的腐蚀防护方法和检测技术，分析其原理、特点及应用效果，以期为天然气管道的腐蚀防护提供参考和借鉴。同时，本文也将探讨当前技术存在的不足及未来的发展方向，旨在促进天然气管道技术的不断进步和完善。

## 1 天然气管道腐蚀防护概述

### 1.1 天然气管道腐蚀的原因及危害

#### 1.1.1 环境因素

管道的材料性能会受到所在环境因素的直接作用，从而影响其腐蚀状况，土壤的环境因素，诸如水分含量、酸碱度、盐分比例以及微生物的活性，均能显著促进金属材料的锈蚀过程，在盐碱地区，较高土壤盐分导致电解质溶液的生成，进而诱发电化学腐蚀现象，处于湿润高温条件下，空气中水分与氧气含量较为丰富，从而使得金属管道更易遭受氧化作用，进而引发锈蚀现象。

#### 1.1.2 管道材料因素

管道的材质对于抗腐蚀性能有所差异，钢铁材料尽管具备较高的强度特性，然而却容易遭受电化学反应所导致的腐蚀现象，例如，以不锈钢为代表的合金材料，尽管其耐腐蚀特性较为出色，然而其生产成本却相对较高，因此，为了显著增加管道的功能性寿命，选择恰当的材料是极其关键的，针对天然气输送系统，采用经过镀锌处理的钢管，目的是为了提升其耐腐蚀的能力。

#### 1.1.3 操作条件因素

管路系统的使用环境变量，会对其锈蚀的速度产生显著影响，在高温高压的环境下，管道材料的化学反应性提升，进而导致其腐蚀的速度加剧，在传输过程中，介质本身的化学组成对整体性能具有决定性影响，在管道中，若存在如硫化氢、二氧化碳等具有腐蚀性的气体成分，它们在内壁上会构成酸性环境，从而促使管道腐蚀速率加剧，在一些天然气田中，所采集的天然气成分中硫化氢浓度较高，因此必须采取专门的防腐措施。

### 1.2 腐蚀防护的必要性和重要性

针对天然气输送管道，实施有效的防腐处理，对于确保其长期稳定运作至关重要，腐蚀防护技术能显著提升管道设施的耐用性，进而显著降低由于腐蚀造成的维护与更换费用，腐蚀防范措施能有效预防管道系统潜在的泄露风险，确保环境安全与人员生命的安全，在2000年，一场由天然气管道腐蚀破裂引发的火灾，不仅造成了巨大的经济损失，还导致了人员伤亡，这一事故警示我们，对腐蚀的防护工作不容忽视。

针对天然气管道的损害，多种原因共同作用导致了腐蚀现象，因此，实施合理的腐蚀预防策略显得尤为关键，实施此措施将显著提升管道系统的耐久性，减少运维的经济负担，同时，它有助于避免潜在的安全风险，确保天然气资源供应的连续性与安全性，深入探讨环境因素、材料属性及其操作条件，有助于形成更为高效的防护机制，从而保障管道系统的安全运作。

## 2 主要的腐蚀防护方法

### 2.1 阴极保护技术

#### 2.1.1 阴极保护的原理

实施阴极保护，即运用电化学手段对金属结构进行防腐蚀，其原理在于通过外部电流的施加或牺牲阳极的连接，使得金属结构表面转变为阴极，以此减缓

或阻止腐蚀过程的发生，阴极保护主要有两种方式：在阴极保护技术领域，牺牲阳极法和外加电流法是两种不同的防腐蚀策略，采用牺牲阳极法，即选用锌、镁等活性金属作为阳极，以自我牺牲的方式维护钢铁结构的完整性；采用外部电源提供直流电流的方法，即外加电流法则，可以使金属结构保持在阴极电位，进而达到防止腐蚀的效果。

### 2.1.2 阴极保护的应用实例

阴极保护技术被广泛地运用在地下及水下金属构筑物，如管道、储罐、船舶以及海上平台，以达到防护效果，一家专注于天然气的企业在其用于远距离输送的管道网络中，实施了以牺牲阳极为特征的阴极保护技术，通过周期性地更新阳极材质，该企业成功提升了管道的功能性寿命，同时，有效降低了由腐蚀诱发的潜在泄露危险。

### 2.1.3 阴极保护的优缺点分析

**优点：**阴极保护技术能提供长期且有效的防腐蚀解决方案，具有低廉的维护费用，能够适应多种多样的复杂环境与条件，**缺点：**实施牺牲阳极法时，阳极材料需周期性替换；而外加电流法，则必须保证持续供电，此二者均需较高额度的设备资金投入，阴极保护技术的实施，依赖于专业的技术支撑，以保障其系统能够稳定且高效地运作。

## 2.2 涂层防护技术

### 2.2.1 涂层防护的原理

实施涂层防护，即在金属表层施加一层具有防护功能的材料，目的在于隔绝金属与其可能发生化学反应的介质，以达到避免腐蚀的效果，涂层材料广泛涵盖有机、无机及复合类别，它们除了能提供物理保护外，亦具备防腐蚀、耐磨损、抗冲击等多样化功能。

### 2.2.2 常用涂层材料及其性能

例如，环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸等类型的有机涂层材料，它们显著的特点包括出色的粘接强度与抗腐蚀特性；例如，氧化铝、锌涂层等无机涂层材料，它们显著的特点是能承受高温和磨损；由有机与无机组分相结合而成的复合涂层，汲取了两种材料的各自优势，从而展现出了更卓越的性能，例如，一条天然气管道通过涂抹环氧树脂涂层来达到防止腐蚀的效果，这使得管道的抗腐蚀能力得到显著增强，同时也延长了其使用周期。

## 2.3 腐蚀抑制剂技术

### 2.3.1 腐蚀抑制剂的原理

腐蚀抑制剂是用来减缓或防止金属腐蚀的化学物

质，其作用机理主要是通过化学反应，在金属表层构建防护层，有效阻隔侵蚀性离子的接触，进而减缓金属的腐蚀速率，在腐蚀性介质中，常规添加腐蚀抑制剂，其流动过程中对整个系统提供防护作用。

### 2.3.2 常用腐蚀抑制剂种类及应用

常用的腐蚀抑制剂包含无机类如铬酸盐、磷酸盐，以及有机类如咪唑啉衍生物、胺类化合物等，在油气开采作业中，为避免管道内壁发生腐蚀现象，经常性添加咪唑啉类抑制剂，此举对防止腐蚀具有显著效果。

### 2.3.3 腐蚀抑制剂的优缺点分析

**优点：**腐蚀抑制剂的应用能显著降低金属损耗的速度，在多种复杂的流体介质条件下均表现有效，无需对装置进行重大改造，**缺点：**长时间的运用会对生态系统造成影响，因此，必须严格管控抑制物质的浓度；对于可能对人类造成伤害的抑制剂，必须进行严格的安全性评估与处理，以确保其使用过程符合安全规范。

## 3 进先进的腐蚀检测技术

### 3.1 超声波检测技术

#### 3.1.1 超声波检测的原理

超声波检测技术，作为一种无损探伤手段，依靠超声波在材料内部反射来识别潜在缺陷，利用超声波探头装置，发出高频声波进行探测，当声波穿透材料时，若遇到诸如裂纹、空洞等内部不连续性特征，声波会被这些特征反射回来，随后，这些反射波会被探头接收系统捕获并进行分析，分析反射信号的时效性与强度分布，便可准确推断出缺陷的具体坐标与其规模。

#### 3.1.2 超声波检测的应用实例

利用超声波技术，对石油及天然气输送管道和储藏设备进行无损评估，此方法在工业检测领域中占据重要地位，例如，一家石油企业定期采用超声波技术对输送管路进行检查，此举有助于尽早发现细微的腐蚀凹坑与裂缝，进而确保及时进行修复处理，有效防止了可能发生的严重泄漏事件，利用超声波技术对焊接接缝进行详细分析，以验证其完整性，对确保构建结构之稳固性至关重要。

#### 3.1.3 超声波检测的优缺点分析

**优点：**利用超声波技术对材料进行深入检测，能够精确认别内部缺陷，具备高灵敏度与大检测范围，并实现对缺陷信息的即时显示与记录；便携式设备的运用，便利了现场检测工作的开展，**缺点：**在对物体表面进行观察时，若存在粗糙或不平现象，则必须采取相应的表面加工措施；在对某一对象进行细致审查的过程中，此任务依赖于具备特定技能的专业个体执

行一系列操作，并通过这些操作得到的数据进行深入的研究与解读；针对形状复杂的工件进行检测时，所获得的结果往往不够理想。

### 3.2 磁粉检测技术

#### 3.2.1 磁粉检测的原理

磁粉检测技术(MPT)依托磁场与磁粉的互动原理，用以开展无损检测活动，在对工件进行检测过程中，首先将其磁化，若工件表面或近表面存在如裂纹、夹杂等缺陷，那么在这些缺陷位置，磁力线将发生畸变，从而产生漏磁场，在撒上磁粉之后，该磁粉在受到漏磁场影响的情况下形成聚集体，据此可以明确展现缺陷的具体位置及其形态。

#### 3.2.2 磁粉检测的应用实例

铁磁性材料的焊缝、铸件及锻件表面缺陷的检测，普遍采用磁粉检测技术，一家天然气企业在对储存罐体的焊接接缝进行无损检测过程中，运用磁粉探伤技术揭示了数个隐藏的裂缝瑕疵，并采取了修复措施，从而防止了可能因焊接缺陷导致的泄露事故发生，磁粉检测技术在铁路、航空等制造行业中，被广泛应用于关键部件表面缺陷的探测。

#### 3.2.3 磁粉检测的优缺点分析

优点：高灵敏度的磁粉检测技术，特别适用于识别表面及其附近区域微小缺陷；执行简便的程序，能够获得一目了然的检测成效，缺点：该方法仅适用于铁磁性材料的探查，对于非铁磁性材料则不适用；对于深层次的不足之处，在识别上不够敏锐；对工件进行磁化和去磁的过程既繁琐又可能引发磁化残余现象。

### 3.3 智能皮肤技术

#### 3.3.1 智能皮肤技术的原理

智能皮肤技术，作为一种新颖的腐蚀监测手段，涉及到的核心在于覆盖于检测物体表面的智能材料层，该层能实时跟踪并感应腐蚀进程，智能皮肤由纳米传感器和柔性电子器件构成，其功能是检测环境中的应变、温度和湿度等参数，并通过无线通信技术，将这些数据发送至监控系统进行深入分析。

#### 3.3.2 智能皮肤技术的应用实例

智能涂层技术，在石油与天然气工业中用于管道，在建筑领域涵盖桥梁，同时在航空航天行业中也有广泛应用，展现出巨大的潜在价值，一家天然气企业在其关键的天然气输送管道上采用了智能监测技术，能够对管线的腐蚀状况进行实时监控，从而确保能够对腐蚀问题进行及时的预警和处理，有效提升了管道的运行安全及可靠性，智能蒙皮技术被部署于飞机的机翼部分，用以

实时监控其结构状态，以保障飞行的安全性。

#### 3.3.3 智能皮肤技术的优缺点分析

优点：采用智能皮肤技术，能够实现对物质腐蚀过程的即时与连续监控，从而在事故发生前进行有效预警，防止灾难性后果；广泛检验范畴，适宜于众多复杂外形构造之表层；数据的交互变得畅通无阻，从而实现了跨越地域的实时监管，缺点：新技术的应用往往伴随着较高的经济投入；对于智能涂层材料的持续稳定与抗老化性能，尚需开展深入的研究以证实其满足长期使用的要求；为了深入挖掘数据内涵，必须依赖相匹配的数据分析平台，同时，由熟练掌握相关技能的专业团队负责对分析结果进行阐释。

### 4 结语

天然气管道的安全运行对于保障能源供应、维护环境和社会安全至关重要。管道腐蚀作为影响其可靠性和使用寿命的主要因素，必须引起足够的重视。通过本文的探讨，我们了解到阴极保护、涂层防护和腐蚀抑制剂等传统防护方法，各有其优势和局限性，需要结合实际情况选择合适的防护措施。同时，超声波检测、磁粉检测和智能皮肤等先进的检测技术，为管道腐蚀的早期发现和预防提供了新的手段，提升了管道的安全性和管理水平。在未来的研究和应用中，应进一步加强防护技术与检测技术的结合，形成综合性腐蚀管理体系。同时，随着科技的进步，新材料、新技术的不断涌现，也为管道腐蚀防护和检测带来了新的机遇和挑战。通过不断创新和优化，我们有望进一步提高管道系统的安全性和耐久性，为社会经济的可持续发展提供坚实的保障。

#### 参考文献：

- [1] 邱欣宇. 轨道交通引起的杂散电流对地下管道腐蚀与防护 [D]. 西安理工大学, 2023.
- [2] 杨一潇. 埋地 X70 钢油气管道腐蚀防护与远程监控的研究 [D]. 西安理工大学, 2023.
- [3] 叶昊. 长输天然气管线防腐措施分析 [J]. 化工管理, 2022,(17):103-105.
- [4] 党唐超, 戚恒慎, 张鹏. 天然气输送管道腐蚀与防腐措施现状分析 [J]. 云南化工, 2019,46(02):175-176.
- [5] 刘犇, 贺佳, 于海超. 关键防腐技术在石油天然气管道工程中的应用研究 [J]. 当代化工研究, 2022(18).
- [6] 霍韩星. 油气集输管道腐蚀与防腐措施研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022(13).
- [7] 张奇志, 权勃, 李琳. 埋地管道阴极保护系统辅助阳极参数优化研究 [J]. 材料保护, 2022(03).