

# 简述阴极保护在埋地天然气管道中的应用

李国祥 张园 张庆富 (江西省天然气集团有限公司管道分公司, 江西 南昌 330000)

**摘要:** 随着经济的快速发展和能源需求的增加, 天然气作为一种清洁、高效的能源被广泛应用于各个领域。然而, 埋地天然气管道在长期使用过程中, 由于受到环境因素和介质的影响, 容易发生腐蚀现象, 导致管道的安全性和可靠性受到威胁。因此, 为了保护埋地天然气管道的完整性和延长其使用寿命, 阴极保护技术被广泛应用于管道的腐蚀防护中。本文将通过对阴极保护在埋地天然气管道中的应用进行分析, 探讨阴极保护技术在管道腐蚀防护中的作用和效果。通过对相关案例的分析, 总结阴极保护技术的设计、施工和监测经验, 为埋地天然气管道的腐蚀防护提供参考和指导。

**关键词:** 天然气管道; 阴极保护; 应用

## 1 阴极保护概述

阴极保护是一种常用的防腐蚀技术, 广泛应用于埋地天然气管道中。它通过在管道表面施加一个负电位, 使管道成为阴极, 从而抑制管道的电化学腐蚀反应。阴极保护的基本原理是利用外部电源提供的直流电流, 使管道表面的金属处于负电位, 形成一个保护电位区域, 从而减缓或阻止腐蚀反应的发生。阴极保护的机理主要包括两个方面: 极化和电流分布。极化是指通过施加外部电流, 使金属表面的电位降低到一个保护电位, 从而减缓或阻止腐蚀反应的进行。电流分布是指在阴极保护过程中, 电流在管道表面的分布情况。通常情况下, 电流密度在管道表面是不均匀的, 最大值出现在管道的凸起部分, 而最小值出现在凹陷部分。阴极保护方法主要包括两种: 外部阴极保护和内部阴极保护。外部阴极保护是通过在管道表面安装阴极保护设备, 如铝锌合金阳极或铁锌合金阳极, 来提供保护电位。内部阴极保护是通过在管道内部注入阴极保护剂, 如镁合金或锌合金, 来提供保护电位。阴极保护在埋地天然气管道中的应用主要包括四个方面: 阴极保护设计、阴极保护施工、阴极保护监测和阴极保护效果评估。阴极保护设计是根据管道的特点和环境条件, 确定合适的阴极保护参数和设备。阴极保护施工是根据设计要求, 在管道表面安装阴极保护设备或注入阴极保护剂。阴极保护监测是通过监测管道表面的电位和电流密度, 以及阴极保护设备的工作状态, 来评估阴极保护效果。阴极保护效果评估是通过管道表面的腐蚀情况进行定期检查和评估, 来判断阴极保护的 effect 是否达到预期目标。

## 2 埋地天然气管道腐蚀问题

### 2.1 管道腐蚀概述

管道腐蚀的概述包括腐蚀的定义、分类和发生的

环境条件。腐蚀是指金属与周围介质发生化学反应, 导致金属表面的损坏和材料性能的变化。根据腐蚀介质的不同, 腐蚀可以分为化学腐蚀、电化学腐蚀和微生物腐蚀等。在埋地天然气管道中, 主要发生的是电化学腐蚀, 即金属在电解质溶液中发生的氧化还原反应。管道腐蚀的形式包括普通腐蚀、局部腐蚀和应力腐蚀等。普通腐蚀是指管道金属表面均匀腐蚀的现象, 导致金属材料的厚度逐渐减小。局部腐蚀是指管道金属表面只在局部区域发生腐蚀, 形成腐蚀坑或腐蚀凹陷。应力腐蚀是指管道金属在受到应力作用的情况下, 发生腐蚀破坏。管道腐蚀的原因主要包括电化学反应、介质的化学成分、温度和湿度等因素。电化学反应是导致管道腐蚀的主要原因, 其中包括阳极反应和阴极反应。阳极反应是金属表面发生氧化反应, 导致金属离子溶解到电解质中。阴极反应是电解质中的氧气或其他物质与金属表面发生还原反应, 消耗电子。介质的化学成分、温度和湿度等因素也会影响管道腐蚀的速度和形式。

### 2.2 腐蚀形式

腐蚀形式是指在埋地天然气管道中可能出现的不同腐蚀现象。根据腐蚀的特点和形式, 埋地天然气管道的腐蚀形式主要包括以下几种:

#### 2.2.1 统一腐蚀

也称为均匀腐蚀, 是指管道表面在整体上均匀腐蚀的现象。这种腐蚀形式通常是由于介质中存在腐蚀性物质, 如水分、氧气等, 导致管道表面的金属材料逐渐被腐蚀掉。统一腐蚀会导致管道壁厚厚度减薄, 从而降低管道的强度和耐压能力。

#### 2.2.2 局部腐蚀

也称为点蚀腐蚀, 是指管道表面只在局部区域发生腐蚀的现象。局部腐蚀通常是由于介质中存在局部

腐蚀因素，如氯离子、硫化物等，导致管道表面的金属材料在局部区域受到腐蚀。局部腐蚀会形成腐蚀坑或腐蚀孔洞，严重时可能导致管道泄漏或破裂。

### 2.2.3 应力腐蚀开裂

是指在存在应力的情况下，管道表面发生腐蚀开裂的现象。应力腐蚀开裂通常是由于管道表面的金属材料在腐蚀介质的作用下，受到应力集中而发生裂纹。这种腐蚀形式常见于高应力区域，如焊接接头、弯头等部位。

### 2.2.4 穿孔腐蚀

是指管道表面发生穿孔的腐蚀现象。穿孔腐蚀通常是由于管道表面的金属材料在腐蚀介质的作用下，出现局部腐蚀或应力腐蚀开裂，导致管道壁厚度减薄，最终形成孔洞。穿孔腐蚀会导致管道泄漏或破裂，对管道的安全性造成严重威胁。

### 2.2.5 空蚀腐蚀

是指管道表面发生空蚀的腐蚀现象。空蚀腐蚀通常是由于管道表面的金属材料在腐蚀介质的作用下，出现局部腐蚀或应力腐蚀开裂，导致管道表面形成凹坑或凹陷。空蚀腐蚀会降低管道的强度和耐压能力，增加管道的疲劳破坏风险。

## 2.3 腐蚀原因

腐蚀原因可以分为以下几个方面：

### 2.3.1 电化学腐蚀

当管道与土壤接触时，形成了一个电池系统，其中管道是阳极，土壤是阴极。在这种情况下，管道表面的金属会发生氧化反应，形成金属离子，并释放出电子。这些电子会通过土壤中的电解质传递到阴极，导致管道的腐蚀。

### 2.3.2 化学腐蚀

化学腐蚀是由于土壤中存在的化学物质对管道金属的腐蚀作用。例如，土壤中的酸性物质、盐类和硫化物等都可以对管道金属产生腐蚀作用。这些化学物质会与管道金属发生反应，形成腐蚀产物，导致管道的腐蚀。

### 2.3.3 微生物腐蚀

微生物腐蚀是由于土壤中存在的微生物对管道金属的腐蚀作用。一些微生物可以利用管道金属作为能量来源，并产生酸性物质，从而导致管道的腐蚀。微生物腐蚀通常发生在潮湿、低氧和高温的环境中。

### 2.3.4 机械腐蚀

机械腐蚀是由于外部力量对管道金属的作用而导致的腐蚀。例如，土壤中的颗粒物质、树根和地震等都可以对管道金属产生机械腐蚀作用。这些外部力量

会破坏管道的保护层，使金属暴露在土壤中，从而导致腐蚀的发生。

## 3 阴极保护在埋地天然气管道中的应用

### 3.1 阴极保护设计

阴极保护设计是在埋地天然气管道中应用阴极保护的关键环节，其目的是通过合理的设计来确保管道的阴极保护效果。需要确定阴极保护的目标。根据管道的特点和使用环境，确定阴极保护的目標是非常重要的。目标的确定包括确定阴极保护电位和保护电流密度等参数，以确保管道能够达到预期的防腐效果。需要选择合适的阴极保护材料。阴极保护材料的选择应考虑管道的材质、管道的使用环境以及阴极保护的要求等因素。常用的阴极保护材料包括铝、锌、镁等。然后，需要确定阴极保护系统的布置方式。阴极保护系统的布置方式应根据管道的长度、管道的走向以及管道的特点等因素进行合理的布置。常见的布置方式包括平行布置、串联布置和环形布置等。接下来，需要确定阴极保护系统的电源类型。阴极保护系统的电源类型有直流电源和交流电源两种。根据管道的特点和使用环境，选择合适的电源类型是非常重要的。最后，需要进行阴极保护系统的电流分布计算和电位分布计算。通过电流分布计算和电位分布计算，可以确定阴极保护系统的电流密度和电位分布情况，以评估阴极保护系统的设计是否合理。

### 3.2 阴极保护施工

阴极保护施工是阴极保护在埋地天然气管道中的重要环节，通过合理的施工措施，确保阴极保护系统的有效运行。施工前需要进行管道的清洁处理。清洁处理是为了去除管道表面的杂质和污垢，以保证阴极保护电流的顺利传递。常用的清洁方法包括机械清洗、化学清洗和高压水清洗等。进行阴极保护系统的安装。阴极保护系统主要包括阴极保护电源、阴极保护装置和阴极保护接地装置等。在施工过程中，需要按照设计要求进行设备的安装和连接，并确保设备的可靠性和稳定性。然后进行阴极保护电流的引入。阴极保护电流的引入是通过电缆将电流从阴极保护电源引入到管道中。在施工中，需要选择合适的电缆材料和规格，并进行正确的接线和连接，以确保电流的稳定传递。接下来，进行阴极保护电极的安装。阴极保护电极是将阴极保护电流引入到管道表面的关键部件。在施工中，需要选择合适的电极材料和形式，并按照设计要求进行电极的安装和固定，以确保电流的均匀分布和有效传递。在施工完成后，需要对阴极保护系统进行调试和运行，以确保系统的正常工作。调试过程中，

需要进行电流密度测试、电位测试和电流分布测试等，以评估阴极保护效果，并进行必要的调整和优化。

### 3.3 阴极保护监测

阴极保护监测需要对埋地天然气管道进行定期的电位测量。通过在管道表面安装电位测量电极，可以实时监测管道的电位变化情况。电位测量可以帮助我们判断阴极保护系统是否正常工作，是否能够提供足够的保护电位。如果电位过高或过低，就说明阴极保护系统存在问题，需要进行相应的调整和修复。阴极保护监测还需要对埋地天然气管道进行定期的电流测量。通过在管道上安装电流测量电极，可以实时监测阴极保护系统的工作电流。电流测量可以帮助我们判断阴极保护系统是否能够提供足够的保护电流，以及电流分布是否均匀。如果电流过小或过大，或者存在电流集中现象，就说明阴极保护系统存在问题，需要进行相应的调整和修复。最后，阴极保护监测还需要对埋地天然气管道进行定期的环境参数测量。通过测量土壤的电阻率、湿度、温度等参数，可以了解管道周围环境的变化情况。环境参数测量可以帮助我们判断管道周围环境是否有利于阴极保护系统的正常运行，是否存在影响阴极保护效果的因素。

### 3.4 阴极保护效果评估

阴极保护效果评估是对阴极保护措施实施后的管道腐蚀情况进行评估和分析，以确定阴极保护的有效性和可行性。评估阴极保护效果的主要方法包括以下几个方面：

#### 3.4.1 腐蚀速率测量

通过定期对管道进行腐蚀速率的测量，可以评估阴极保护的效果。常用的腐蚀速率测量方法有电化学极化曲线法、电化学阻抗谱法等。通过对比阴极保护前后的腐蚀速率，可以判断阴极保护的有效性。

#### 3.4.2 电位测量

通过对管道表面的电位进行测量，可以评估阴极保护的效果。在阴极保护下，管道表面的电位应该保持在一定的负值范围内，以达到防止腐蚀的目的。通过对比阴极保护前后的电位变化，可以判断阴极保护的效果。

#### 3.4.3 金属腐蚀产物分析

通过对管道表面的腐蚀产物进行分析，可以评估阴极保护的效果。阴极保护下，管道表面的腐蚀产物应该减少或者变得更加稳定。通过对比阴极保护前后的腐蚀产物的变化，可以判断阴极保护的效果。

#### 3.4.4 管道外观检查

通过对管道外观的检查，可以评估阴极保护的效

果。阴极保护下，管道表面应该没有明显的腐蚀迹象，如锈蚀、腐蚀坑等。通过对比阴极保护前后的管道外观变化，可以判断阴极保护的效果。

### 3.4.5 阴极保护系统运行参数监测

通过对阴极保护系统运行参数的监测，可以评估阴极保护的效果。阴极保护系统的运行参数包括电流密度、电位、电流分布等。通过对比阴极保护前后的运行参数变化，可以判断阴极保护的效果。

## 4 案例分析

XXX 管道是一条埋地天然气管道，该管道经过多年的运行，出现了严重的腐蚀问题。为了解决这一问题，阴极保护技术被应用于该管道。针对 XXX 管道的特点和腐蚀情况，进行了阴极保护设计。设计中考虑了管道的长度、直径、材质以及周围环境等因素，确定了合适的阴极保护措施。设计中采用了外加电流阴极保护方法，通过在管道周围埋设阳极，施加外加电流来实现阴极保护。进行了阴极保护施工。施工过程中，首先对管道进行了清洗和除锈处理，确保管道表面的清洁度和光洁度。然后，在管道周围埋设了阳极，并与管道连接，形成了阴极保护系统。施工过程中，严格按照设计要求进行操作，确保施工质量。随后，进行了阴极保护监测。通过安装监测设备，对管道的电位进行实时监测，以确保阴极保护系统的正常运行。监测结果显示，阴极保护系统能够有效地降低管道的电位，减少腐蚀速率，保护管道免受腐蚀的侵害。最后，对阴极保护效果进行了评估。通过对管道进行定期检查和测试，发现管道表面的腐蚀情况得到了明显改善，腐蚀速率显著降低。

## 5 结论

综上所述，通过对阴极保护在埋地天然气管道中的应用进行分析和评估，得出了阴极保护是一种有效的防止管道腐蚀的方法，并提出了进一步研究和改进的展望。这对于保障埋地天然气管道的安全运行具有重要的意义。

### 参考文献：

- [1] 刘文祥. 长输天然气管道阴极保护技术及应用 [J]. 中国石油石化, 2019(11):26-27.
- [2] 蒋传杰, 崔有维, 王丽. 天然气管道阴极保护技术及应用 [J]. 化工管理, 2019(22):153.
- [3] 杜志波. 套管对埋地燃气管道阴极保护电流屏蔽的探讨 [J]. 科技风, 2021(03):106-107.
- [4] 吕淼. 埋地燃气管道腐蚀评估预测体系的构建 [J]. 煤气与热力, 2020(05):38-40+46.