

阴极保护在埋地天然气管道中的应用

李林波（江西省天然气管道有限公司，江西 南昌 330096）

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工业和民用领域。然而，埋地天然气管道在长期使用过程中会受到腐蚀的影响，导致管道的安全性和可靠性受到威胁。腐蚀问题不仅会造成管道的损坏和泄漏，还可能对环境和人民的生命财产安全造成严重威胁。为了解决埋地天然气管道的腐蚀问题，阴极保护技术应运而生。阴极保护是一种通过施加电流或使用特殊材料来保护金属结构免受腐蚀的技术。它利用电化学原理，在金属结构表面形成一个保护层，阻止腐蚀反应的发生。阴极保护技术已经在石油、化工、船舶等领域得到广泛应用，并取得了显著的效果。

关键词：天然气；管道；阴极保护

1 阴极保护原理

阴极保护原理是指通过在金属结构表面施加一定的电流，使其成为阴极，从而抑制金属的电化学腐蚀过程。阴极保护原理主要包括两个方面：阴极极化和阳极极化。阴极极化是指通过施加外部电流，使金属结构表面的电位降低，使其成为阴极。在阴极保护系统中，通常使用外部电源或者外部电流源来提供所需的电流。当金属结构成为阴极后，其电位降低，电化学腐蚀反应的发生速率减慢，从而达到保护金属的目的。阳极极化是指通过施加外部电流，使金属结构表面的电位升高，使其成为阳极。阳极极化主要用于防止金属结构的局部腐蚀，特别是在存在局部腐蚀倾向的区域。阳极极化可以通过在金属结构表面涂覆一层阳极保护涂层或者使用阳极保护材料来实现。阴极保护原理的基本思想是通过改变金属结构表面的电位，使其成为阴极或者阳极，从而改变金属的电化学腐蚀过程。通过施加适当的电流，可以有效地抑制金属的腐蚀速率，延长金属结构的使用寿命。

2 阴极保护方法

2.1 外部阴极保护

外部阴极保护是一种常用的防腐蚀方法，广泛应用于埋地天然气管道中。其主要原理是通过在管道表面施加一个负电位，使管道成为阴极，从而抑制腐蚀反应的发生。外部阴极保护方法主要包括两种：印流法和电流分布法。印流法是通过在管道周围埋设一定数量的阴极材料，通过外部电源向阴极材料供电，使其产生足够的电流流入管道，从而实现阴极保护。电流分布法是通过在管道周围埋设一定数量的阴极材料，并通过外部电源向阴极材料供电，使其产生均匀分布的电流，从而实现阴极保护。外部阴极保护系统

的设计需要考虑多个因素，包括管道的长度、直径、土壤电阻率、电流密度等。外部阴极保护在埋地天然气管道中的应用已经取得了显著的效果，能够有效延长管道的使用寿命，减少腐蚀损失。在未来的研究中，可以进一步探索新的阴极保护材料和技术，提高阴极保护系统的效率和可靠性。

2.2 内部阴极保护

内部阴极保护系统主要由阴极保护电源、阴极保护装置和阴极保护电流分配装置组成。阴极保护电源提供所需的电流和电压，阴极保护装置将电流引入管道内部，而阴极保护电流分配装置则用于分配电流以保证整个管道系统的均匀阴极保护。阴极保护的效果评价主要通过测量管道的电位来进行。通常采用参比电极法或电位差法来测量管道的电位，以判断管道是否处于良好的阴极保护状态。同时，还可以通过测量管道的电流密度来评估阴极保护的效果，以确保管道表面的电流密度在一定范围内，以避免过高或过低的电流密度对管道的腐蚀产生不利影响。在选择阴极保护材料时，需要考虑其导电性、耐腐蚀性、耐久性以及成本等因素。常用的阴极保护材料包括铝、镁、锌等。此外，还可以采用涂层材料来增加管道的防腐蚀性能，如环氧涂层、聚乙烯涂层等。阴极保护系统的设计需要考虑管道的长度、直径、材质以及土壤的电阻率等因素。设计时需要确定合适的电流密度和电位要求，并根据管道的特点选择合适的阴极保护装置和电流分配装置。

2.3 阴极保护系统的组成

阴极保护系统的组成是指构成阴极保护系统的各个组成部分。阴极保护系统主要由以下几个方面组成：阴极保护电源、阴极保护装置、阴极保护电极、

监测装置、控制装置、地下金属结构。以上是阴极保护系统的主要组成部分。通过合理配置和运行这些组成部分，可以有效地保护埋地天然气管道免受腐蚀的侵害，延长其使用寿命，确保天然气输送的安全和可靠性。

3 埋地天然气管道的腐蚀问题

3.1 天然气管道腐蚀类型

天然气管道腐蚀类型是指在埋地天然气管道中可能出现的不同腐蚀形式。根据腐蚀的机理和表现形式，天然气管道腐蚀类型主要包括以下几种：

①绝缘腐蚀：由于管道表面的绝缘层受损或缺失，导致管道金属暴露在外界环境中，与介质或土壤发生电化学反应，引起腐蚀；②空气腐蚀：管道表面暴露在空气中，与氧气、湿气等发生化学反应，形成氧化物或氢氧化物，导致管道金属腐蚀；③微生物腐蚀：由微生物引起的腐蚀，包括硫酸盐还原菌腐蚀、硫酸盐氧化菌腐蚀、铁细菌腐蚀等。微生物通过代谢产生的酸性物质或氧化物质，对管道金属进行腐蚀；④应力腐蚀：由于管道受到外界应力的作用，结合介质的腐蚀作用，导致管道金属发生应力腐蚀破坏；⑤焊接腐蚀：焊接接头处由于焊接过程中的热影响和冷却过程中的应力，容易形成焊接腐蚀，导致管道金属腐蚀；⑥磨损腐蚀：由于管道表面与其他物体的摩擦或冲刷作用，导致管道金属表面受损，进而引发腐蚀。了解天然气管道腐蚀类型对于制定有效的阴极保护策略和选择合适的防腐材料具有重要意义。在实际应用中，需要根据具体情况对不同类型的腐蚀进行分析和评估，以确保天然气管道的安全运行。

3.2 腐蚀原因分析

腐蚀是指金属在特定环境中与周围介质发生化学或电化学反应而导致的材料损失。在埋地天然气管道中，腐蚀主要由以下几个原因引起。

首先，湿度高的土壤会导致管道表面形成一层水膜，水膜中的氧气和其他氧化剂会与金属表面发生反应，形成氧化物，从而引发腐蚀。其次，土壤中存在酸性物质、盐类和硫化物等化学物质会与金属表面发生反应，形成腐蚀产物，加速管道的腐蚀速度。此外，一些微生物可以利用管道表面的金属作为能量来源，通过代谢产生的酸性物质和氧化物引发腐蚀反应。埋地天然气管道在施工和运输过程中可能会受到机械损伤，如划伤、挤压等，这些损伤会破坏管道的防腐层，使金属暴露在外界环境中，加速腐蚀的发生。

4 阴极保护在埋地天然气管道中的应用

4.1 阴极保护的效果评价

阴极保护的效果评价是对阴极保护系统在埋地天然气管道中的应用效果进行评估和分析。评价阴极保护的效果可以从以下几个方面进行：腐蚀速率的降低、保护电位的维持、阴极保护效果的均匀性、阴极保护系统的能耗。通过对阴极保护系统的能耗进行监测和分析，可以评估其经济性和可持续性。综上所述，阴极保护的效果评价需要考虑腐蚀速率的降低、保护电位的维持、阴极保护效果的均匀性以及阴极保护系统的能耗等方面。通过对这些指标的评估和分析，可以判断阴极保护系统在埋地天然气管道中的应用效果，并为进一步改进和优化阴极保护系统提供参考。

4.2 阴极保护材料的选择

阴极保护材料的选择是阴极保护系统设计中的重要环节。选择合适的阴极保护材料可以有效地延缓或阻止埋地天然气管道的腐蚀。在选择阴极保护材料时，需要考虑以下几个方面：

①电极材料：常用的电极材料包括铅-锡合金、铅-锡-锌合金、铅-锡-锌-铝合金等。这些材料具有良好的导电性和耐腐蚀性能，能够提供稳定的电流输出；②包覆材料：为了保护电极材料免受外界环境的侵蚀，常常需要对电极进行包覆。常用的包覆材料有石油沥青、煤沥青、聚乙烯等。这些材料具有良好的耐腐蚀性和绝缘性能，能够有效地保护电极；③接地材料：为了确保阴极保护系统的有效运行，需要将电流引入地下。常用的接地材料有铜、铝等。这些材料具有良好的导电性能，能够有效地将电流引入地下；④附加材料：在一些特殊情况下，还需要使用一些附加材料来增强阴极保护效果。

4.3 阴极保护系统的设计

在外部阴极保护系统设计中，需要确定合适的阴极保护电流密度和保护电位，以及选择合适的阴极保护材料，如铝、锌等。此外，还需要考虑外部阴极保护系统的布置方式和接地方式，以确保电流能够均匀地分布到整个管道表面。在内部阴极保护系统设计中，需要确定合适的阴极保护剂的投加量和投加方式，以及选择合适的阴极保护剂，如镁合金、铝合金等。同时，还需要考虑内部阴极保护系统的布置方式和监测与维护措施，以确保阴极保护剂能够均匀地分布到整个管道内部，并及时进行补充和更换。通过合理的阴极保护系统设计，可以有效地延长埋地天然气管道的

使用寿命,减少腐蚀损失。

4.4 阴极保护系统的监测与维护

阴极保护系统的监测与维护是确保阴极保护系统正常运行和有效保护埋地天然气管道的关键环节。监测阴极保护系统的主要目的是及时发现系统故障或异常情况,以便采取相应的维护措施。常用的监测方法包括电位测量、电流测量和电阻测量等。电位测量是最常用的监测方法,通过测量管道表面的电位来判断阴极保护系统的工作状态。电流测量则是通过测量阴极保护系统的输出电流来评估系统的工作效果。电阻测量主要用于检测管道的电阻变化,以判断管道的腐蚀情况。在监测过程中,还需要定期检查阴极保护设备的运行情况,如电源、电极和接地装置等,确保其正常工作。同时,还需要进行管道的定期检查和维修,包括清除管道表面的污物和涂层的修复等。维护阴极保护系统的关键是及时处理故障和异常情况,如电源故障、电极腐蚀和接地装置失效等,以确保阴极保护系统的稳定运行。

5 实例分析

5.1 案例一:XXX天然气管道阴极保护应用

在本案例中,我们将以XXX天然气管道为例,探讨阴极保护在埋地天然气管道中的应用。XXX天然气管道是一条长距离的埋地管道,用于输送天然气。由于长期暴露在土壤中,管道容易受到腐蚀的影响,从而导致管道的损坏和泄漏风险。因此,为了保护管道的安全运行,防止腐蚀问题的发生,我们决定采用阴极保护技术。通过对管道进行监测和分析,我们发现阴极保护技术能够有效地减少管道的腐蚀速率,延长管道的使用寿命。同时,我们还将讨论阴极保护材料的选择,包括阳极材料和电缆材料的选取,以及它们的性能和适用性。在阴极保护系统的设计方面,我们将介绍外部阴极保护系统和内部阴极保护系统的设计原则和步骤。外部阴极保护系统设计包括阳极的布置和电流的控制,以确保管道的全面保护。内部阴极保护系统设计包括阴极保护系统的组成和监测与维护措施,以确保系统的稳定运行和及时修复。最后,我们将通过实例分析XXX天然气管道阴极保护的应用效果。我们将详细介绍在XXX天然气管道上实施阴极保护的过程和结果,包括管道的腐蚀情况、阴极保护系统的运行情况以及管道安全性能。通过这个案例,我们可以得出结论,阴极保护技术在埋地天然气管道中具有重要的应用价值,能够有效地保护管道免

受腐蚀的侵害。

5.2 案例二:XXX天然气管道阴极保护应用

在本案例中,我们将介绍XXX地区一条天然气管道的阴极保护应用情况。该管道是一条埋地管道,经过多年的使用,开始出现了腐蚀问题。

为了保护管道的安全运行,防止腐蚀进一步扩大,阴极保护技术被引入并应用于该管道。首先,针对该管道的腐蚀类型进行了详细的分析。通过对管道表面的腐蚀情况进行观察和测试,确定了腐蚀主要是由于土壤中的湿度和化学物质对管道金属的侵蚀所致。接下来,对腐蚀原因进行了深入的分析,发现土壤中的湿度和化学物质是由于管道周围环境的特殊性导致的。

为了解决腐蚀问题,我们选择了外部阴极保护方法。首先,根据管道的长度和周围环境的特点,设计了合适的阴极保护系统。该系统包括了阴极保护电源、阴极保护装置和阴极保护电流分配装置等组成部分。然后,选择了适合该管道的阴极保护材料,确保其具有良好的导电性和耐腐蚀性。最后,进行了阴极保护系统的监测与维护工作,确保系统的正常运行。经过一段时间的运行,我们对该管道的阴极保护效果进行了评价。通过对管道表面的腐蚀情况进行观察和测试,发现腐蚀现象得到了有效控制,管道的安全运行得到了保障。

6 结论

阴极保护是一种有效的防止埋地天然气管道腐蚀的方法。通过施加外部或内部阴极保护,可以降低管道的腐蚀速率,延长管道的使用寿命。综上所述,阴极保护在埋地天然气管道中的应用具有重要的意义和广阔的应用前景。通过合理设计和有效监测维护阴极保护系统,可以有效地延长管道的使用寿命,提高管道安全性和可靠性。

参考文献:

- [1] 王孟孟,张本同,宗丽娜,吴超.天然气长输管道腐蚀机理及检测技术研究[J].焊管,2017,40(11):58-62.
- [2] 邹思勤.天然气管道腐蚀与防腐措施分析[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(22):32-33.
- [3] 郑晓东.浅析天然气管道的腐蚀原因及解决对策[J].石化技术,2017,24(10):193.
- [4] 张本同,王孟孟,宗丽娜.天然气长输管道腐蚀及防护研究[J].山东化工,2017,46(18):134-135+138.