

# 石油管道焊接接头的腐蚀与防护

张平安

中国石油乌鲁木齐石化设备安装有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:**与无缝管道相比,将焊接管道当作石油运输管道具有成本低且工艺优良等特点。同时,焊接管道可以制作不同类型与不同规格的石油管道。但焊接工艺在实际应用过程中所产生的热循环也会导致焊缝组织发生一定的变化,容易出现电化学性能与力学性能的不均匀性问题,降低了焊缝金属的稳定性和耐腐蚀性,进而降低了石油运输管道的整体寿命。而腐蚀问题最常出现的结构位置就是焊接接头。也就是说,为了推动石油工业实现可持续发展,就必须要对石油管道腐蚀问题全面了解,在此基础上采取科学合理的防护措施。

**关键词:**石油管道;焊接接头;腐蚀;防护

## 引言

目前,我国很多油田均处在中、高含水开发阶段,在综合含水持续性上升的背景下,油、气、水集输系统的腐蚀现象也与之相伴随而变得愈发得严重,由此一来,腐蚀逐渐发展为对整个管道系统安全、可靠运行及其使用寿命产生严重负面影响的关键因素,在很大程度上加大了管道事故的发生率。而在管道腐蚀现象中,又以焊接接头的腐蚀最为严重,因为接头位置存在焊接热循环现象,它会对防腐涂层形成破坏,所以相关工作人员应该对石油管道焊接接头腐蚀原因进行把握,并在此基础上明确相应的防护措施具有不容忽视的积极意义。

## 1 石油管道焊接接头腐蚀的形成原因

石油管道焊接接头腐蚀是油气工业常见的问题,其能够降低管道的承载能力和使用寿命,甚至会导致安全事故的发生。焊接接头部位在管道使用过程中往往较为薄弱,加上焊接过程带来的组织差异和热应力,容易成为管道腐蚀的高风险区域<sup>[1]</sup>。该种类型腐蚀现象通常来源于化学反应、电化学反应和生物腐蚀等多方面的原因。

### 1.1 化学反应

#### 1.1.1 氧化反应

当焊接接头所在环境中氧气、水汽等含氧元素比较高时,附加在焊缝、热影响区等位置的氧化物质对金属水平的腐蚀作用会被增强。

#### 1.1.2 还原反应

还原反应是指环境中存在还原性物质时,这些金属离子会还原成原来的金属形态,这可能导致接头处的部分区域发生较大程度的腐蚀,形成腐蚀坑。

#### 1.1.3 水解反应

水解反应在焊接接头的条件中经常会出现,水解过程会破坏到金属表面的防腐涂层,因此,会使得焊接接头的部位更加容易发生腐蚀现象。

## 1.2 电化学反应

### 1.2.1 金属电极腐蚀

金属电极腐蚀是由于焊接接头面积不均匀,或者不均匀的氧化膜,形成电池电位差,从而导致一个区域上的金属离子长期地向另一区域迁移,造成金属离子的丢失,进而引发接头的腐蚀。

1.2.2 电流集中焊接接头存在电流集中的现象,当管道接头等部件受到电流作用时,所受电流密度会因其狭窄的焊接接头部位而变大,从而加速电化学反应速度,造成接头的部分腐蚀。

## 1.3 生物腐蚀

### 1.3.1 微生物腐蚀

在油气管道中,细菌、藻类、真菌等微生物会在管道壁面形成共生层,期间微生物代谢会产生一些酸性物质,这些物质会破坏管道壁面的保护层并导致腐蚀的形成,是管道腐蚀中相对较常见的方式之一。

### 1.3.2 海洋生物腐蚀

石油管道在海水中易受海洋生物的侵蚀。例如豆腐质生物(Tunicate)会附着在管道表面,其代谢产物是酸性物质,会对管道表面的防腐层产生损坏,形成腐蚀现象。

## 2 石油管道焊接接头腐蚀的种类

石油管道焊接接头是管道系统中一个重要的组成部分,连接相邻管道并传递流体,其安全和可靠性对石油管道系统的运行和生产有着至关重要的作用。然而,在石油管道系统的长期运行中,由于外界环境或管道质量等原因,接头部位易发生腐蚀现象,进而引起石油泄漏、管道爆炸等严重事故。因此,了解石油管道焊接接头的腐蚀种类显得尤为重要。论文将对石油管道焊接接头腐蚀的种类进行详细介绍。

### 2.1 电化学腐蚀

电化学腐蚀是一种通过电化学反应将金属转化为其

它物质的腐蚀方式。在石油管道系统中,如果焊接接头处的金属与其它金属或溶液发生了化学反应,可能会出现电化学腐蚀。常见的电化学腐蚀类型包括:金属离子扩散、化学反应和金属腐蚀。

## 2.2 晶间腐蚀

晶间腐蚀是一种在金属结晶晶界上或晶界周围发生的腐蚀形式<sup>[2]</sup>。它通常出现在焊接接头处,特别是在不锈钢焊接接头上。在晶间腐蚀的情况下,表面的金属会出现裂纹,最终导致接头的失效。

## 2.3 孔蚀

孔蚀又称为局部蚀孔,是一种在金属表面上形成局部孔洞的腐蚀现象。它通常由局部金属表面的电化学反应引起。由于孔蚀的缺陷往往很小,因此可能会被检查员忽略,导致事故的发生。

## 2.4 应力腐蚀开裂

应力腐蚀开裂是一种在金属内部产生开裂的腐蚀现象。它是由于金属内部受到了一个或多个腐蚀因素引起的,通常因为焊接接头周围的应力过高而导致。

## 2.5 海洋腐蚀

海洋环境中涉及到海盐、水、土壤、沉积物和生物等多种因素,因此焊接接头在海洋环境中容易出现各种各样的腐蚀。海洋腐蚀的种类包括海洋大气腐蚀、海水腐蚀、生物腐蚀等。

## 3 石油管道焊接接头腐蚀评价

石油管道是整个石油工业的支柱,因此其安全是不可避免的。在管道的使用过程中,接头区域是最容易发生腐蚀问题的部位之一。针对这一问题,需要对接头腐蚀进行评价和预测,以确保管道的安全和可靠性。

### 3.1 腐蚀速率和程度的测定

进行接头腐蚀评价的基础是腐蚀速率和程度的测定。这可以通过非破坏性检测技术、电化学检测技术、放射化学技术、室外暴露试验等多种方法进行实现。其测定方法取决于腐蚀的类型、腐蚀环境和实际测定条件等因素。在进行测定时,需要考虑到测定的准确性和前后数据的可比性。

### 3.2 腐蚀影响因素的分析

接头腐蚀的影响因素包括管道材料、环境、电化学因素、处理工艺等多个方面。对这些影响因素进行评价和分析,可以发现并解决导致腐蚀的根本原因。例如,在焊接接头处应注意焊接工艺的规范及焊缝质量的监测,以减少因焊接引起的腐蚀。

### 3.3 腐蚀损失的评价和预测

确定腐蚀损失的评价和预测是进行接头腐蚀评价工作的重要内容。在此过程中,需同时考虑腐蚀的速率和

程度、管道材料的损失强度、接头腐蚀的分布情况及腐蚀区域的地形与土壤类型等因素,确定管道接头的安全性。同时,利用统计学和模拟计算等分析方法,预测腐蚀损失的趋势和变化规律,并对腐蚀危险点采取相应的处理措施,降低腐蚀对管道安全的影响。

## 4 石油管道焊接接头防腐技术

石油管道作为石油和天然气工业的重要设备,其安全和稳定运行对于行业发展至关重要。而焊接接头作为管道的弱点,往往容易发生腐蚀<sup>[3]</sup>。因此,在焊接接头处采用科学的防腐技术措施进行保护,对于延长石油管道使用寿命和保障运行安全至关重要。

### 4.1 粗糙表面处理

粗糙表面处理是重要的防腐技术之一。在进行涂层施工前,先要对焊接接头表面进行机械处理,使其表面变得较为平整,从而提高涂层的附着性和抗腐蚀性。针对焊接接头表面粗糙度高的情况,可以采用喷砂、电轮或切削等多种工艺方式进行处理,确保涂层附着牢固。

### 4.2 合理的涂层配方

合理的涂层配方是实现有效防腐的重要保障。涂层配方应根据管道实际情况和环境,选择适合的涂层类型及厚度,并进行科学的配方设计和成分选择,在综合考虑其耐腐蚀性、耐缩小热龟裂性、耐低温影响性等方面进行设计。此外,涂层的粘度、流动性、硬度等特性也应考虑,以确保涂层具有良好的防腐性能。

### 4.3 薄膜防腐层施工工艺

薄膜防腐层是常见的防腐技术,其施工工艺也是至关重要的环节。首先,要对管道表面进行清洁处理,去除杂质和锈迹,确保涂层具有良好的附着性;其次,要对涂层涂布工艺进行合理设计,如采用喷涂、刷涂等合适的施工方式,并保证涂层的均匀性和厚度;最后要注意控制环境温度、湿度等因素,确保涂层在适宜的条件下干燥固化。

### 4.4 质量控制和检测技术

质量控制和检测技术是防腐工程的关键环节,能够有效地保证涂层质量和工程安全。针对焊接接头处的薄膜防腐层施工,应建立专门的质量控制和检测体系,严格执行相关工程标准和规范,确保施工质量和工程安全。其中的关键技术包括:涂层质量检测、涂层厚度检测、防腐涂层结构设计优化等。

## 5 石油管道焊接接头的维护和检测

石油管道焊接接头是管道系统的弱点,通常是管道发生泄漏和事故的热点区域。为了确保管道的安全运行,必须对焊接接头进行定期检测和维修。

### 5.1 定期检查和评估维护计划

随着经济的快速发展和人民生活水平不断提高,石油管道的作用越来越重要,而清晰明确的定期检查和评估维护计划则是确保石油管道运营稳定和安全的必要手段。首先,针对石油管道的特点和要求,制定相应的管道维护计划是非常必要的。管道维护计划应包括对焊接接头的检查、测量和评估等,同时考虑到管道的使用环境,以保证管道的完整性和安全运行。其次,在具体做法上,配合现代检测技术和方法是十分重要的。除了对管道接头的外观检查,超声波检测、射线或磁粉检测等都是非常常用的做法。通过超声波的检测结果,可以发现管道的内部和外部的缺陷和损坏情况。利用射线或磁粉检测则可以发现小裂纹、凸起、裂痕和孔洞等局部的缺陷和变形情况,为了有效地防止石油泄漏和事故的发生,这些方法都需要综合使用。同时,当检测及时发现管道存在问题时,以及时修复为原则,定期的维护保养也尤为重要。针对不同的问题,使用不同的维修方案和方法。要特别注意的是,在修复管道时,一定要选择合适的维修材料和工艺,以确保修复工作的质量和效率。最后,管道的维护计划要加强实施,定期对执行情况进行检查,及时补救问题,从而提高管道的安全运行水平,确保该管道能够为经济、社会发展作出贡献。

## 5.2 应对腐蚀损失的措施

腐蚀是管道接头发生泄漏和事故的重要原因之一。为了有效地应对腐蚀问题,可以采取以下措施:1)表面防腐:在焊接接头上采用表面防腐措施来防止腐蚀<sup>[4]</sup>。2)电位极化技术:采用电位极化技术,对石油管道进行监测,并利用电位极化电流来达到防腐效果。3)涂层防腐:在管道的表面涂上一层防腐材料,防御腐蚀因素的侵袭。

## 5.3 检测技术和方法

对于焊接接头的检测,现有的检测方法和技术包括:

### 5.3.1 超声波检测

超声波检测是一种常用的管道焊缝检测技术,主要是通过对接头进行超声波检测,检测焊缝部位的缺陷及其尺寸。它的原理是利用超声波在材料中传播和反射的特性,发现焊缝中的缺陷或裂纹,并利用声波传播时间等特征参数来确定缺陷的大小。超声波检测技术具有反应迅速、灵敏度高和能够较全面的发现缺陷等优点,适用于管道的各种类型和尺寸。

### 5.3.2 磁粉检测

磁粉检测是一种通过在检测物体表面喷洒一种可磁化粉末,通过磁粉粒子在表面的聚结和着色来检测缺陷和裂纹的方法。在管道焊缝检测中,通过施加电磁场,使焊缝区域磁化,再对表面喷粉,检测出缺陷和裂纹。磁粉检测方法具有检测灵敏度高、被检测材料不受损伤

和经济实用等优点。

### 5.3.3 射线检测

射线检测是一种管道焊缝检测中常用的无损检测方法,可以发现焊接部位的缺陷,包括管道内部的缺陷。它的原理是利用高能 $\beta$ 或 $\gamma$ 射线穿透物体后,被探测器接收到的信号进行分析和处理,检测出异常的区域,从而获得缺陷的位置、大小和形状等重要信息。射线检测技术具有检测结果准确,检测范围广和不损伤被检测物体等特点,但是需要专业人员操作,安全性要求高。

### 5.3.4 涡流检测

涡流检测是一种通过磁场感应法进行管道焊缝检测的方法,可以检测焊缝的裂纹、管道中的缺陷或凹坑等问题。其原理是在被检测的管道或焊缝表面上施加交变的电磁场,产生交变磁流,引起涡流的形成,并通过检测感应电磁场变化来获得管道内部缺陷的位置、形状等信息。涡流检测技术应用范围广,特别适用于管道内部缺陷的检测。

### 5.3.5 无损检测

无损检测是一种综合运用多种方法进行检测和评估的方法。通常是采用超声波、磁粉、射线、涡流等技术进行检测,综合分析得到的结果,对管道的安全运行状态进行评估和判定。无损检测方法具有全面性强,可靠性高和效率高等优点。对于管道运行安全风险大、重点部位和设施设备,可以定期使用无损检测技术进行全面的检测,及时发现隐患,采取相应的措施加以解决,从而保障管道的安全稳定运行。

## 结束语

石油运输管道焊接接头的腐蚀具有普遍性和广泛性,是石油运输管道的最常见的问题之一,但是石油管道的腐蚀会带来严重的社会危害和经济损失,所以尽管石油管道焊接接头的防护及其复杂和困难,但是我们还要不断研究。做好石油管道防腐工作是经济社会发展的迫切需要,需要相关各方的共同努力,推动我国石油防腐工作不断取得新的进展。

## 参考文献

- [1]杨莉,何凯.油气集输管道焊接接头的腐蚀分析与防护[J].化学工程与装备,2018,31(10):13-14.
- [2]曹光.油水两相流中海底管道焊接结构局部腐蚀行为研究[D].中国石油大学(华东),2021,12(9):25-27.
- [3]杨大龙.浅析石油管道焊接接头的腐蚀与防护[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2019,08(16):37-38.
- [4]王长罡,姜征锋,卢启春,张存生,刘志刚,南立团,陈朋超,廖宪国.油气管道在役焊接研究进展[J].油气储运,2020,09(17):66-67.