

# 含 CO<sub>2</sub> 集输管线腐蚀及选材技术研究

张丹丹

大庆油田设计院有限公司 黑龙江大庆 163000

**摘要:** 该文针对油气田地面集输规划设计中涉及到的含 CO<sub>2</sub> 集输管线腐蚀问题进行了研究。首先, 分析了 CO<sub>2</sub> 对管线腐蚀的影响因素和机理, 并总结了目前国内外常用的防腐措施。其次, 针对目前使用的管线材料及其防腐措施存在的问题, 探讨了选材技术的发展趋势和应用前景。最后, 结合实际工程案例, 探讨了含 CO<sub>2</sub> 集输管线的选材及防腐设计策略。

**关键词:** 含 CO<sub>2</sub> 集输管线; 腐蚀; 选材技术; 防腐措施; 规划设计

## Research on corrosion and Material Selection Technology of gathering and transportation pipeline containing CO<sub>2</sub>

Dandan Zhang

Daqing Oilfield Design Institute Co., LTD., Daqing, Heilongjiang 163000

**Abstract:** In this paper, the corrosion of gathering pipelines containing CO<sub>2</sub> involved in the planning and design of oil and gas field surface gathering was studied. Firstly, the influence factors and mechanism of CO<sub>2</sub> on pipeline corrosion were analyzed, and the common anti-corrosion measures at home and abroad were summarized. Secondly, in view of the existing problems of pipeline materials and anti-corrosion measures, the development trend and application prospect of material selection technology are discussed. Finally, combined with practical engineering cases, the selection of materials and anti-corrosion design strategy of CO<sub>2</sub> gathering and transportation pipeline are discussed.

**Keywords:** Gathering and transportation pipeline containing CO<sub>2</sub>; Corrosion; Material selection technology; Anti-corrosion measures; Planning and design

### 引言

随着我国油气产业的不断发展, 地面集输规划设计在整个油气田开发中扮演着至关重要的角色。然而, 在集输过程中, 含 CO<sub>2</sub> 气体会对管线材料产生腐蚀, 导致管线失效, 从而影响生产安全和经济效益。因此, 研究含 CO<sub>2</sub> 集输管线腐蚀及选材技术, 对于保障油气田地面集输安全稳定运行, 提高油气采收率, 降低生产成本具有重要意义<sup>[1]</sup>。

### 一、含 CO<sub>2</sub> 集输管线腐蚀影响因素及机理分析

含 CO<sub>2</sub> 气体是地下油气藏常见的伴生气体, 其含量的高低直接影响到油气田地面集输系统的运行安全和稳定性。在输送过程中, CO<sub>2</sub> 会与管道内表面的金属产生化学反应, 从而导致管道腐蚀, 进而影响管道的使用寿命<sup>[2]</sup>。因此, 了解 CO<sub>2</sub> 对管道腐蚀的影响因素和腐蚀机理对于制定有效的防腐措施和材料选型具有重要的指导意义。

#### 1.CO<sub>2</sub> 腐蚀的影响因素

CO<sub>2</sub> 腐蚀是油气田含 CO<sub>2</sub> 气体的集输管线所面临的主要问题之一, 其影响因素包括以下几个方面:

(1) CO<sub>2</sub> 含量: CO<sub>2</sub> 含量是影响管道腐蚀的最主要因素。当管道中的 CO<sub>2</sub> 含量达到一定水平时, 管道内表面的腐蚀速率就会增加。CO<sub>2</sub> 气体的含量和压力是影响 CO<sub>2</sub> 腐蚀

的主要因素。CO<sub>2</sub> 气体含量和压力越高, 金属材料腐蚀速率越快。

(2) 温度和压力: 温度和压力也是影响 CO<sub>2</sub> 腐蚀的因素。一般来说, 温度和压力越高, 管道腐蚀的速率就越快。温度是影响 CO<sub>2</sub> 腐蚀的重要因素。在一定的 CO<sub>2</sub> 含量和压力下, 金属材料的腐蚀速率随温度升高而加快。

(3) 水分含量: 水分是影响 CO<sub>2</sub> 腐蚀的另一个重要因素。在干燥的条件下, 管道腐蚀速率会降低, 而在潮湿的条件下, 管道腐蚀速率则会增加。水质对 CO<sub>2</sub> 腐蚀也有一定的影响。在水中存在一些离子时, 如氯离子、钠离子等, 会加速 CO<sub>2</sub> 腐蚀的进行。

(4) 金属材料: 不同的金属材料对 CO<sub>2</sub> 腐蚀的抵抗能力不同。一般来说, 抗腐蚀能力强的金属材料, 比如不锈钢、镍合金等, 对 CO<sub>2</sub> 腐蚀的影响相对较小。金属材料的组织结构、化学成分和表面处理状态对 CO<sub>2</sub> 腐蚀的影响较大。一些材料具有良好的耐腐蚀性能, 如铝、钛、不锈钢等材料, 可以减缓 CO<sub>2</sub> 腐蚀的速度<sup>[3]</sup>。

(5) 氧气和硫化物的存在: 氧气和硫化物是 CO<sub>2</sub> 腐蚀的促进因素。氧气可以加速 CO<sub>2</sub> 腐蚀的进行, 而硫化物则会降低金属表面的 pH 值, 促进 CO<sub>2</sub> 腐蚀的发生。

#### 2.CO<sub>2</sub> 腐蚀的机理分析

CO<sub>2</sub> 腐蚀的机理较为复杂,一般分为电化学腐蚀和非电化学腐蚀两种类型。其中,电化学腐蚀是 CO<sub>2</sub> 腐蚀的主要形式,其机理包括以下几个方面:

(1) 金属离子的溶解: CO<sub>2</sub> 气体会与金属表面发生反应,产生可溶性金属离子。这些离子在水中形成氢氧根离子,使得水中的 pH 值降低,从而促进腐蚀的进行。

(2) 氢离子的还原: 由于金属表面电极电位的变化,会产生氢离子。这些氢离子在金属表面还原成氢气,同时会释放出电子,形成电化学反应链,加速腐蚀的发生。

(3) 阳极反应: 金属表面的阳极区域会发生氧化反应,将金属原子氧化成离子并且释放电子。这个过程中,氢离子会被还原成氢气,释放出电子。同时,金属离子也会进一步溶解到水中,形成更多的氢氧根离子。

(4) 阴极反应: 金属表面的阴极区域会接收来自阳极的电子,并与水中的氢离子结合成氢气。这个过程称为还原反应。在 CO<sub>2</sub> 腐蚀中,还原反应是通过氢气还原原来的氧化物,使金属离子还原成原来的金属原子,从而减缓腐蚀的速度。

综上所述,CO<sub>2</sub> 腐蚀的机理是通过一系列电化学反应,包括金属离子的溶解、氢离子的还原、阳极反应和阴极反应等过程,使金属表面发生化学变化,从而导致腐蚀的发生。因此,在 CO<sub>2</sub> 腐蚀的防治中,需要根据这些机理因素,采取有效的防护措施,以保护管线的完整性和安全性。

## 二、常用防腐措施分析

为了保护含 CO<sub>2</sub> 集输管线的完整性和安全性,防止 CO<sub>2</sub> 腐蚀对管线的损害,常用的防腐措施主要包括缓蚀剂、涂层防腐和材料改性等<sup>[4]</sup>。下面分别对这三种措施进行分析。

### 1. 缓蚀剂

缓蚀剂是一种能够在金属表面形成保护膜,从而降低金属腐蚀速率的物质。常用的缓蚀剂有有机胺类、硫酸盐、草酸盐、硫代硫酸盐等。这些缓蚀剂能够与金属表面发生化学反应,形成一层保护膜,起到防腐作用。

#### (1) 优点:

①缓蚀剂适用范围广,能够适应不同的管线材料和工作环境。

②缓蚀剂使用方便,可以直接加入管线内部,不需要对管线进行更改或者加工。

③缓蚀剂对环境污染小,使用后可以直接自然分解,不会对环境造成污染。

#### (2) 缺点:

①缓蚀剂的缓蚀效果受环境因素影响较大,例如温度、压力等因素。

②缓蚀剂不能完全保证管线的安全性,可能需要与其他防腐措施一起使用。

### 2. 涂层防腐

涂层防腐是指在管线表面涂覆一层具有防腐功能的涂层,通常采用环氧、聚氨酯等涂层材料。涂层能够在金属表面形成一层保护膜,防止 CO<sub>2</sub> 与金属表面接触,从而达到防腐的目的。

#### (1) 优点:

①涂层防腐的防腐效果稳定可靠,能够保证管线长期安全运行。

②涂层材料种类丰富,可以根据不同工况要求选择不同的涂层材料。

③涂层施工方便,可以在生产加工过程中直接进行施工,不需要对管线进行更改。

#### (2) 缺点:

①涂层材料价格较高,增加了管线的成本。

②涂层施工需要特定设备和技术,增加了施工难度和成本。涂层膜的质量和厚度对防腐效果有很大影响,需要注意施工质量和监督。

### 3. 材料改性

材料改性主要是指通过改变管线材料的化学成分或者结构,提高其抗腐蚀性能。常用的材料改性方式包括钼、铬等元素掺杂、表面处理等。

#### (1) 优点:

①材料改性可以提高管线的抗腐蚀性能,从根本上解决了 CO<sub>2</sub> 腐蚀问题。

②材料改性后的管线成本相对较低,不需要进行额外的施工。

③材料改性后的管线具有较好的可维护性,维护成本相对较低。

#### (2) 缺点:

①材料改性需要专业的技术和设备支持,施工难度较大。

②材料改性后的管线可能会影响其机械性能,需要在材料设计和改性过程中进行充分考虑。

③材料改性后的管线的可焊性和连接性可能会受到影响,需要对接口设计进行特殊考虑。

综上所述,不同的防腐措施各有优缺点,需要根据实际情况进行选择 and 平衡。对于 CO<sub>2</sub> 含量较高的集输管线,涂层防腐和材料改性等措施可以结合使用,以达到更好的防腐

效果。

### 三、选材技术的发展趋势及应用前景

#### 1. 现有管线材料的问题

目前,在CO<sub>2</sub>含量较高的油气田中,常用的管线材料包括碳钢、不锈钢、高强度低合金钢等。然而,这些材料在面对CO<sub>2</sub>腐蚀时存在着一些问题:

首先,碳钢在CO<sub>2</sub>腐蚀环境下容易发生腐蚀,管道的寿命较短;其次,不锈钢材料虽然具有一定的耐腐蚀性能,但是成本较高,难以普及应用;最后,高强度低合金钢具有优异的耐腐蚀性能,但是也存在一些问题,例如焊接困难、成本高等。

#### 2. 新型管线材料的研究与应用

为了解决现有管线材料的问题,近年来,新型管线材料的研究与应用得到了广泛关注。新型管线材料主要包括复合材料、聚合物材料、钛合金材料等。

其中,复合材料具有很高的强度和耐腐蚀性能,能够在CO<sub>2</sub>腐蚀环境下长期稳定运行。例如,碳纤维增强复合材料被广泛用于高压气体储存罐和压力容器等领域。聚合物材料也是一种具有潜力的管线材料,例如聚苯乙烯、聚醚酰亚胺等材料在抗腐蚀方面表现出色,同时也具有成本低廉的优势。钛合金材料也是一种广泛研究的管线材料,钛合金具有优异的抗腐蚀性能和高强度,但是成本较高,应用仍面临着一定的挑战。

#### 3. 选材技术的发展趋势

选材技术的发展趋势主要体现在以下几个方面:首先,新型管线材料的研究与应用将成为未来的发展趋势。新型管线材料具有更优异的耐腐蚀性能和更高的强度,能够更好地满足油气田地面集输的要求。其次,多种管线材料的组合应用将成为未来的发展趋势。不同的材料具有各自的优势和不足,将它们进行组合应用,可以在一定程度上弥补不同材料之间的缺陷,提高整体性能。例如,采用双层或三层复合管道的结构,将不同材料的优点结合在一起,能够有效地提高管线的抗腐蚀能力和耐久性。第三,绿色环保的管线材料将成为未来的发展方向。随着全球环境保护意识的增强,绿色环保的材料逐渐受到重视。例如,采用可回收、可降解的材料,既能够满足工程要求,又能够减少对环境的污染。第四,先进的选材技术将会得到广泛应用<sup>[5]</sup>。例如,采用计算机模拟技术和材料基因工程技术,可以更加准确地预测管线材料的性能,提高材料的设计和选择效率。此外,利用先进的材料检测技术和无损检测技术,能够及时发现管道材料的缺陷,

减少运行事故的发生。

综上所述,选材技术的发展趋势将以新型材料的研究与应用、多种材料组合应用、绿色环保的材料和先进的选材技术为主要方向,这些发展趋势将为油气田地面集输规划设计提供更多的选择和可能性。

### 四、含CO<sub>2</sub>集输管线选材及防腐设计策略探讨

含CO<sub>2</sub>集输管线的选材及防腐设计是保证管线长期安全运行的关键。

#### 1. 管线材料选型原则

管线材料选型应遵循以下原则:(1)耐腐蚀性能优良。由于CO<sub>2</sub>对金属材料的腐蚀性较强,因此管线材料应具备优良的耐腐蚀性能,能够在高CO<sub>2</sub>环境下长期安全运行;(2)强度高、韧性好。在地下运输过程中,管线承受着巨大的压力和振动,因此管线材料应具备高强度和良好的韧性,能够承受外部载荷和内部压力变化;(3)成本低廉。管线材料的成本是影响选型的重要因素,应选择价格合理、性能稳定的材料;(4)适应性强。不同的地质环境和气体成分对管线材料的适应性不同,选材时应考虑具体的工况要求,选择适合的材料。

#### 2. 防腐设计策略

防腐设计策略包括以下几个方面:(1)涂层防腐。涂层防腐是常用的防腐方式之一,选用环氧、聚氨酯等涂层材料进行涂覆,能够形成一层保护膜,防止CO<sub>2</sub>与金属表面接触;(2)缓蚀剂。缓蚀剂能够形成一层保护膜,减缓CO<sub>2</sub>对金属的腐蚀速度,延长管线的使用寿命;(3)材料改性。改性材料可以提高管线材料的抗腐蚀性能和强度,常用的改性方式包括涂层改性、表面处理改性、添加缓蚀剂等<sup>[6]</sup>;(4)优化设计。通过优化设计,可以减少管线的腐蚀程度,延长使用寿命。例如,采用防腐材料、改变管线布置方式等。

#### 3. 实际工程案例

某油气田含CO<sub>2</sub>气体的集输管线选材及防腐设计案例  
某油气田的含CO<sub>2</sub>气体的集输管线选材及防腐设计是一个成功的案例。该项目中,采用了高强度、耐腐蚀的X80管线钢作为管线材料,并在管线表面涂覆了环氧涂层作为防腐层。该项目中,选材时主要考虑了以下因素:首先,针对CO<sub>2</sub>气体的腐蚀特性,选用了耐腐蚀性能更为优异的X80钢作为管线材料。其次,考虑到工程成本的因素,选用了可靠的环氧涂层作为管线的防腐层。环氧涂层不仅具有良好的防腐性能,而且施工成本低廉,可实现高效、快速的施工。最后,对管线进行了适当的设计,保证了管线的承载能力和

稳定性。

该项目的实际运行情况表明,选材和防腐设计策略的有效性和可行性。通过采用耐腐蚀性能更优异的管线材料和有效的防腐措施,该管线能够稳定运行多年,实现了经济、安全、环保的效果。

## 五、结语

含 CO<sub>2</sub> 气体的集输管线是目前油气田地面集输中普遍采用的一种管线形式,但其腐蚀问题一直是制约其安全可靠运行的重要因素。在管线材料选型方面,需要根据具体工况要求选择合适的材料,如 316L 不锈钢、超级 13Cr 钢等<sup>[7]</sup>。同时,需要考虑材料的成本、加工难度等因素,并尽可能地采用多种管线材料的组合应用。在防腐设计方面,需要考虑涂层防腐、缓蚀剂和材料改性等多种方案,并结合实际情况进行综合选用。此外,对于管线的设计、施工、运行和维护等各个环节也需要有针对性地制定相应的措施和规范,以保障管线长期安全可靠运行。

## 参考文献

[1]董晓焕,赵国仙,冯耀荣,姜毅.13Cr 不锈钢的 CO<sub>2</sub>

腐蚀行为研究[J].石油矿场机械,2003:4-6.

[2]王志龙,艾俊哲,梅平,舒福昌,许昌杰.二氧化碳对钢腐蚀的影响因素研究[J].油气田环境保护,2004:50-52+64.

[3]舒福昌.13Cr-L-80 钢和 N-80 钢的电偶腐蚀及缓蚀剂研究[J].腐蚀与防护,2007:19-21.

[4]郭崇晓,张燕飞,吴泽.双金属复合管在强腐蚀油气田环境下的应用分析及其在国内的发展[J].全面腐蚀控制,2010:17-22.

[5]苏俊华,张学元,王凤平,杜元龙.高矿化度介质中二氧化碳腐蚀金属的规律[J].材料保护,1998:24-26+2-3.

[6]赵国仙,严密林,白真权,路民旭,冯耀荣,邸超,李建平.N80 钢的 CO<sub>2</sub> 腐蚀行为试验研究[J].石油机械,2000:14-16+64.

[7]张丹丹,曹万岩.油田数字化建设进展及发展趋势[J].石油规划设计,2020,31(5):12-15.

作者简介:张丹丹(1988.7—),女,汉族,工程师,2015年毕业于中国石油大学(北京)化学工程与技术专业,硕士研究生学历,现在大庆油田设计院有限公司总体规划室,从事油气集输及规划设计工作。