

## 燃气管道系统设计中的耐腐蚀材料选用与优化研究

黄龙

合肥合燃华润燃气有限公司, 安徽 合肥 230001

**[摘要]**燃气管道在长期使用中会遭遇腐蚀问题, 严重时不仅影响管道的使用寿命, 还可能引发安全事故。因此, 选择和优化耐腐蚀材料成为保障管道系统安全的重要环节。传统的管道材料如碳钢在许多腐蚀环境中存在局限性, 而新型耐腐蚀材料, 如涂层、复合材料和防腐合金, 逐渐被应用于燃气管道中, 展现出更好的防护性能和耐久性。然而, 耐腐蚀材料的选择依然面临诸多挑战, 需综合考虑材料的耐腐蚀性、经济性和施工可行性等因素。文中综述了燃气管道常用耐腐蚀材料的特点与应用现状, 并提出了针对不同腐蚀环境的材料优化策略, 为管道系统设计与维护提供参考。

**[关键词]**燃气管道; 系统设计; 耐腐蚀材料; 材料选用; 优化策略

DOI: 10.33142/ec.v8i1.14988

中图分类号: TU81

文献标识码: A

### Research on the Selection and Optimization of Corrosion Resistant Materials in Gas Pipeline System Design

HUANG Long

Hefei Heran CR Gas Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230001, China

**Abstract:** Gas pipelines may encounter corrosion problems during long-term use, which not only affects the service life of the pipeline but may also cause safety accidents in severe cases. Therefore, selecting and optimizing corrosion-resistant materials has become an important link in ensuring the safety of pipeline systems. Traditional pipeline materials such as carbon steel have limitations in many corrosive environments, while new corrosion-resistant materials such as coatings, composite materials, and anti-corrosion alloys are gradually being applied in gas pipelines, demonstrating better protective performance and durability. However, the selection of corrosion-resistant materials still faces many challenges, requiring comprehensive consideration of factors such as material corrosion resistance, economy, and construction feasibility. The article summarizes the characteristics and application status of commonly used corrosion-resistant materials for gas pipelines, and proposes material optimization strategies for different corrosive environments, providing reference for pipeline system design and maintenance.

**Keywords:** gas pipeline; system design; corrosion resistant materials; material selection; optimization strategy

#### 引言

在现代燃气管道系统的设计与建设过程中, 腐蚀问题始终是影响管道安全性、可靠性以及经济性的关键因素。由于燃气管道通常埋设在地下, 长期暴露于土壤、地下水及气候变化等复杂环境中, 腐蚀现象普遍存在。如果缺乏有效的防护措施, 管道容易遭受老化与损坏, 甚至可能引发严重的安全事故。针对这一问题, 如何合理选择与优化耐腐蚀材料, 已成为提升燃气管道系统耐用性与安全性的核心课题。尽管传统管道材料能够满足部分设计需求, 但在面对愈加复杂的腐蚀环境时, 其防腐性能常常无法提供长期稳定的保障。随着科技的不断发展, 许多新型耐腐蚀材料及防护技术相继问世, 这些材料与技术为解决方案的可靠性与高效性提供了更为有力的支持。具有优异耐腐蚀性的这些新材料, 能够在极端环境下维持良好的物理与化学稳定性, 大大延长了管道的使用寿命, 同时减少了维护成本。本文将探讨燃气管道系统设计中耐腐蚀材料的选择原则与优化策略, 分析常见耐腐蚀材料的性能、应用情况及其成本效益, 旨在为燃气管道系统的设计与运营维护提

供理论依据与实践指导。

#### 1 燃气管道系统的腐蚀问题分析

燃气管道系统的腐蚀问题, 始终是影响其安全运行及长期稳定性的关键因素。通常, 燃气管道长时间埋设于地下, 暴露在复杂多变的环境中。管道材料在与空气、水分、土壤及燃气成分的长期接触下, 容易发生化学反应, 导致腐蚀现象的产生。该问题不仅会削弱管道的强度与刚度, 增加破裂与泄漏的风险, 还可能引发严重的安全事故, 造成巨大的经济损失。腐蚀的成因是复杂的, 既与外部环境因素密切相关, 也与管道材料本身的特性有关。外部环境方面, 土壤的酸碱性、湿度以及电化学反应等因素, 都会加速管道表面的腐蚀; 地下水的渗透、管道周围微生物的作用, 以及气候变化等, 亦可能加剧腐蚀过程的发生。此外, 管道的材质、涂层的完整性以及焊接质量等因素, 也在腐蚀的发生与发展中起着重要作用。对于大多数钢制管道而言, 电化学腐蚀是最常见的腐蚀形式, 尤其是在电偶腐蚀环境中, 管道局部的腐蚀速度可能会大幅加快。腐蚀不仅会造成物理损伤, 还可能导致管道内部结构的不均匀

性,进而影响其承载能力与稳定性。由此,如何及时识别腐蚀的发生、评估其严重程度,并采取有效的防护措施,成为了燃气管道设计与维护中的关键问题。随着技术的不断发展,腐蚀监测与检测技术的进步,为早期发现管道腐蚀提供了有力支持。然而,如何综合考虑环境因素、材料特性与施工工艺,依然是解决管道腐蚀问题的核心挑战。

## 2 燃气管道耐腐蚀材料的基本要求与性能

燃气管道耐腐蚀材料的选择,对于管道的长期稳定运行、安全性提升以及维护成本的减少至关重要。其基本要求之一,必须是具备卓越的抗腐蚀能力,能够有效应对土壤、地下水及气体成分带来的腐蚀作用。燃气管道通常埋设于地下或水下,长期处于电化学腐蚀、机械摩擦腐蚀及微生物腐蚀等多重环境中,因此,所选材料必须具备抗氧化性、耐酸碱、耐湿热及耐磨损等性能。此外,所选材料还需具备足够的机械强度与韧性,确保能够承受管道运行过程中可能出现的内外压力波动、地质变化及其他外力作用,从而避免破裂或变形,保障管道的安全性及可靠性。在某些特殊应用场景下,耐高温性能亦具有重要意义。尤其是在天然气输送过程中,温度波动或气体本身的高温环境对材料稳定性提出了更高的要求,这直接关系到管道的长期稳定运行。材料选择过程中,还应考虑其加工性与可施工性。燃气管道通常需在恶劣环境下进行施工,材料的焊接性能、耐高温热处理性能以及连接性能,必须符合施工工艺的要求<sup>[1]</sup>。对于长期埋地运行的管道,材料的防水性与防渗透性同样不可忽视,能够有效防止地下水或化学物质对管道的侵蚀。此外,耐腐蚀材料的耐老化性及使用寿命,亦是关键考虑因素。特别是在复杂环境条件下,材料的稳定性能够显著降低管道的更换与维护频率。常见的燃气管道耐腐蚀材料,包括高耐腐蚀钢材、涂层材料、合金材料及复合材料等,这些材料不仅在防腐性能上有显著提升,还能满足管道在强度、韧性及施工性等多个方面的要求。

## 3 燃气管道常用耐腐蚀材料的选用与比较

燃气管道系统中耐腐蚀材料的选用,对保证管道的长期安全稳定运行至关重要,尤其在各种环境条件下,合适的材料能够显著延长管道的使用寿命,并降低维护成本。常见的耐腐蚀材料包括涂层钢管、不锈钢管、聚乙烯(PE)管、聚氯乙烯(PVC)管以及复合材料管等。在选择不同材料时,需要综合考虑其抗腐蚀性能、成本、施工难度以及所处的使用环境。涂层钢管作为一种常见的耐腐蚀管道材料,通常通过聚乙烯(PE)、环氧树脂或沥青等涂层进行保护,能够有效防止土壤腐蚀及水分侵蚀。其优点在于较高的机械强度与承压能力,适用于长距离及高压的燃气输送管道。然而,涂层的耐久性容易受到外部环境的影响,特别是在电化学腐蚀或涂层受损的情况下,防腐效果将受到影响。因此,涂层钢管的施工质量及后期的维护管理显

得尤为重要。由于其出色的抗腐蚀性与耐高温性能,不锈钢管被广泛应用于特殊环境下的燃气管道,特别适合高腐蚀性环境或对腐蚀要求极高的场合。不锈钢管能够有效防止氧化、酸碱及海水腐蚀,适用于海上平台及化学品较多的工业环境。然而,由于其成本较高,且焊接与安装技术要求严格,不锈钢管更常用于高端或特殊用途的管道系统。聚乙烯(PE)管具备良好的化学稳定性与较低的摩擦系数,已成为许多燃气管道项目的首选材料。特别是在中低压燃气管道中,PE管表现出优异的耐腐蚀性、抗老化性及柔韧性,能够适应土壤变化及一定的外力作用。PE管施工简便,连接方式简单,具备较高的经济性,因此广泛应用于城乡燃气管道。然而,在高温、高压及极端腐蚀性环境下,PE管的适用性较为有限,因此,在这些特殊条件下,需选择具有更强防护能力的材料。聚氯乙烯(PVC)管由于其轻便、成本低及较好的耐腐蚀性,常用于小口径、低压燃气管道的铺设,尤其适合在干燥、温和的环境中使用。尽管PVC管具有较好的耐酸碱性能,但其耐高温、耐高压的能力较差,因而不适合用于高温或高压环境<sup>[2]</sup>。近年来,复合材料管道作为一种新型耐腐蚀材料,已开始出现,通常由玻璃纤维、碳纤维等先进材料与树脂复合而成。复合材料管道具有优异的抗腐蚀性、较轻的重量以及较强的耐压能力,适用于对耐腐蚀性要求极高的环境,如化工厂及海洋平台等。其优势在于优良的耐老化性与抗腐蚀性能,但由于成本较高且施工难度较大,应用范围相对受限。

## 4 燃气管道系统设计中的耐腐蚀材料优化策略

### 4.1 管道设计中的耐腐蚀材料选择原则

在燃气管道系统设计中,耐腐蚀材料的选择至关重要,其直接影响着管道的使用寿命、运行安全性及维护成本。在选择适当的耐腐蚀材料时,首先,环境条件应被综合考虑,包括土壤类型、地下水特性、气候变化以及潜在的化学腐蚀源。例如,当管道处于酸性或盐碱土壤中时,涂层钢管、不锈钢管等抗腐蚀性强的材料将是较为合适的选择;而在环境条件较为温和的地区,聚乙烯(PE)管或聚氯乙烯(PVC)管可能是更加经济且有效的选项。除环境因素外,材料的机械强度与韧性也必须具备,以承受管道在安装、运输及使用过程中可能遭遇的外力作用,尤其是应对地震、沉降或地面负荷等引发的变形。耐温、耐压性能同样是关键,特别是在高温或高压条件下,材料的稳定性直接关系到系统的安全性。在选择耐腐蚀材料时,施工性与经济性同样不可忽视。便于加工、安装及后期维护的材料应被选用,以避免因施工复杂性而增加不必要的成本。最后,考虑到管道的长期使用需求,具有良好耐老化性、抗紫外线能力以及较低维护频率的材料,应当被选择,以有效确保系统在其整个生命周期内的稳定性与安全性。

### 4.2 耐腐蚀材料的优化组合

在燃气管道系统的设计中,耐腐蚀材料的优化组合是

确保管道长期稳定运行的关键策略。通过合理搭配不同材料的特点,能够充分发挥它们在防腐蚀、强度、耐温、耐压等方面的优势,从而提升系统的整体性能并有效降低维护成本。常见的优化组合之一是钢管与防腐涂层的结合,形成双重保护。例如,外涂聚乙烯(PE)涂层的钢管,不仅可以有效隔离土壤中的腐蚀介质,减少腐蚀对管道的侵害,同时提供一定的机械保护,增强管道的耐久性。对于高腐蚀环境的管道系统,采用不锈钢管与防腐涂层相结合的组合,也被广泛应用。通过此举,不仅利用了不锈钢的优异抗腐蚀性,涂层还提供了额外的防护,从而确保管道在恶劣环境中的长期稳定性<sup>[3]</sup>。此外,作为一种新兴的耐腐蚀材料,复合材料管道逐渐得到应用,尤其是在需要高度耐腐蚀的场合。这类管道通常由玻璃纤维或碳纤维与树脂复合而成,具备较轻的重量、出色的耐腐蚀性以及较强的机械强度。在某些特定环境下,复合材料与传统金属管道的结合使用,能够显著提高管道系统的耐腐蚀性,延长其使用寿命。对于低压管道系统,聚乙烯(PE)管与钢管的组合也展示了良好的应用前景。具有优异耐腐蚀性的PE管与承受压力能力较强的钢管相结合,能够充分发挥各自的优势,既保证了经济性,也提高了系统的耐用性。

#### 4.3 材料防护技术的创新与应用

在燃气管道系统的设计中,材料防护技术的创新与应用,已成为提升管道耐腐蚀性能的核心要素。随着环境腐蚀因素日益复杂,以及管道系统运行要求的不断提高,传统的防护措施已无法满足当前的严苛需求。针对这一挑战,创新型防护技术的出现,为管道系统的长期稳定性提供了新的解决方案。近年来,智能涂层技术、纳米防腐材料以及自修复材料等新型防护技术,逐步应用于管道防腐领域。通过在涂层中嵌入传感器与智能分子,智能涂层技术使管道能够实时监测其腐蚀状态。检测到腐蚀迹象的早期阶段时,这些涂层甚至能够自动启动修复机制,释放防腐物质,从而有效阻止腐蚀的扩展。纳米防腐材料通过将纳米颗粒加入传统防腐涂层中,显著提高了涂层的机械强度、耐磨性及耐化学腐蚀性能。特别是在应对微观裂纹和孔洞时,涂层的抗渗透性得到了有效增强,纳米材料显著延长了管道的使用寿命。自修复材料,代表了防腐技术的前沿发展。该材料利用特定的自修复机制,在涂层发生小范围损伤时,能够自动进行修补,修复裂纹或破损的部位,从而有效防止外界环境对管道的进一步腐蚀,减少维护频率及成本。除了材料本身的创新,防护工艺的提升同样是防腐技术进步的重要体现。例如,通过在管道表面涂覆多层具有不同功能的材料,多层复合涂层技术的应用,显著增强了防腐效果<sup>[4]</sup>。尤其是在极端环境条件下,抗腐蚀能力表现得更为突出。与此同时,随着环保法规的日益严格,绿色环保型防腐材料的使用,逐渐成为行业发展的趋势。低毒无污染的环保涂料正在

逐步替代传统含有有害物质的防腐材料,这不仅符合现代环保要求,也有助于推动可持续发展目标的实现。

#### 4.4 耐腐蚀材料的成本效益分析

在燃气管道系统设计中,耐腐蚀材料的成本效益分析,在选择合适材料时扮演着至关重要的角色。尽管耐腐蚀材料的初期投入相对较高,但从长远角度来看,其能够有效降低管道系统的维护频率及故障发生率,从而显著减少整体运营成本。耐腐蚀材料的最大优势之一,在于其显著延长管道的使用寿命。通过减少因腐蚀引起的管道老化、破裂等问题,能够有效避免频繁的维修和更换工作,从而减少相关费用。一旦管道发生腐蚀,修复费用往往远超使用高性能材料的初期成本,尤其是在偏远地区或复杂环境中,管道的维护与修复难度加大,且费用更为昂贵。耐腐蚀材料在降低安全事故发生率方面,也发挥着关键作用,能够有效减少如天然气泄漏等重大事故的发生,进而避免由此带来的经济损失及环境污染。随着技术的不断进步,新型耐腐蚀材料的生产成本逐渐降低,同时其性能也在不断提高,使得这些材料在性价比方面表现得更加突出,进一步增强了其在管道系统中的应用优势。

#### 5 结语

在燃气管道系统设计中,耐腐蚀材料的合理选用与优化至关重要,直接关系到管道的长期安全运行、维护成本的控制以及系统稳定性的提升。随着腐蚀环境日益复杂,传统材料的防腐能力已经难以满足现代燃气管道的需求。因此,新型耐腐蚀材料的引入,如涂层、复合材料及防腐合金等,为管道防腐提供了更加有效的解决方案。通过科学的材料选型与优化策略,不仅能够显著延长管道的使用寿命,还能提升系统的整体经济性与安全性。然而,在材料选择的过程中,面临着技术和经济的双重挑战。选择时,材料的性能、成本、施工便利性以及其长期耐腐蚀能力等多个因素,需要综合评估。随着新材料技术的持续发展与创新,燃气管道的耐腐蚀性能将得到进一步加强,管道系统的设计与运营也将变得更加高效、经济和安全。

#### 【参考文献】

- [1]刘旭文. 新型在役燃气出地管道防腐修复研究[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(8): 172-174.
  - [2]赵政泽. 城镇燃气管道施工技术重点及注意事项分析[J]. 低碳世界, 2024, 14(3): 136-138.
  - [3]满乐祥. 架空燃气管道防腐技术研究[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(2): 162-164.
  - [4]黎志昌. 长输燃气管道的防腐控制技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(16): 37-38.
- 作者简介:黄龙(1989.10—),毕业院校:安徽工业大学,所学专业:化学工程与技术,当前就职单位:合肥合燃华润燃气有限公司,职务:职工,职称级别:工程师。