

20号钢管在高氧/高硫环境中的腐蚀机理

齐艳飞¹, 王程昊¹, 刘建涛², 张娜², 张妍¹

¹华北理工大学, 河北 唐山

²河北省产品质量监督检验研究院, 河北 石家庄

收稿日期: 2022年3月29日; 录用日期: 2022年4月21日; 发布日期: 2022年4月29日

摘要

20号钢管凭借运输成本低、效率高、建设周期较短等优点, 被应用于化工冶金、电力、石油、医学药物及公共工程等各大领域。然而, 20号钢管在服役期间会出现腐蚀问题, 尤其是在高氧、高硫环境中。因此, 本文重点分析了20号钢管在高氧、高硫环境中的腐蚀机理, 即20号钢管与氧、硫发生化学反应, 构成腐蚀电池, 加剧20号钢管的腐蚀。此外, 从钢管材质、添加缓蚀剂及涂层防腐三方面出发, 提出了如何提高20号钢管耐腐蚀性能。为有效降低20号钢管因腐蚀失效而带来的经济损失、环境污染及人身危险等提供参考, 促进20号钢管在各大领域中的广泛应用。

关键词

20号钢管, 高氧, 高硫, 腐蚀

Corrosion Mechanism of 20# Steel Pipe in High Oxygen/High Sulfur Environment

Yanfei Qi¹, Chenghao Wang¹, Jiantao Liu², Na Zhang², Yan Zhang¹

¹North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

²Hebei Research Institution for Product Quality Supervision and Inspection, Shijiazhuang Hebei

Received: Mar. 29th, 2022; accepted: Apr. 21st, 2022; published: Apr. 29th, 2022

Abstract

With the advantages of low transportation cost, high efficiency and short construction cycle, 20# steel pipe is applied to chemical metallurgy, electric power, petroleum, medical drugs, public works and other fields. However, 20# steel pipe will face corrosion problems during service, especially in high oxygen and high sulfur environment. Therefore, this paper focuses on the corrosion failure mechanism of 20# steel pipe in high oxygen and high sulfur environment, that is, 20# steel

pipe reacts with oxygen and sulfur to form a corrosion battery, which intensifies the corrosion of 20# steel pipe. In addition, how to improve the corrosion resistance of 20# steel pipe is put forward from three aspects: steel pipe material, adding corrosion inhibitor and coating anti-corrosion. To effectively reduce the economic loss, environmental pollution and personal danger caused by corrosion failure of 20# steel pipe, and promote the wide application of 20# steel pipe in various fields.

Keywords

20# Steel Pipe, High Sulfur, High Oxygen, Corrosion

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

20#钢管是重要的工业生产及民用基础设施,被广泛应用于化工冶金、电力、石油、医学药物及公共工程等各大领域,其主要优点表现为运输成本低、效率高、建设周期较短等。因此,管道在各领域中的使用量大幅度增加。然而,管道因腐蚀所带来的经济损失约占国民生产总值的 2%~4%,实践研究表明,管道采取有效防腐措施后,因腐蚀所带来的损失可降低 30% [1]。腐蚀防护既是一项跨行业的技术,又是一项跨部门的技术,虽不能直接创造经济效益,但是可通过降低管道发生腐蚀失效的行为,达到降低失效所带来的经济损失的目的。20#钢管在服役期间会出现腐蚀问题,尤其是在高氧、高硫环境中。因此,本文重点分析 20#钢管在高氧、高硫环境中的失效原因及机理,为有效减轻管道因失效所带来的经济损失、环境污染及人身危险等。

2. 高氧环境

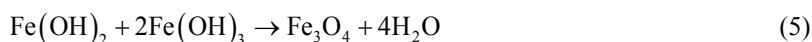
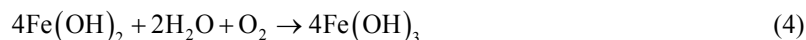
20#无缝钢管凭借其价格低廉的优势,成为进水管的备选管材。节能器的进水管安装在锅炉给水泵之后,节能器箱体前置管道。在运行期间,进水管不断受到腐蚀及外力作用,从而进水管受到损伤,随运行时间增加,进水管的腐蚀情况愈加恶化。在节能器的进水管运行期间,20#无缝钢管的外壁接触烟气,内壁传输热水,20#无缝钢管内外壁出现任何的腐蚀失效行为都会破坏传输水的平稳性,给锅炉节能器带来经济上的损失,甚至也会给人身安全带来威胁。因此,为降低腐蚀事故的发生率,降低人员伤亡的可能性,降低经济损失,提高节能器的利用率,明确 20#无缝钢管出现穿孔腐蚀的形成机理具有重要意义。关于 20#无缝钢管失效机理的研究小到解决 20#无缝钢管作为进水管应避免接触某些因素而延长其使用寿命的问题,大到关系着 20#无缝钢管运输其它液体避免失效的依据和可能出现的失效行为分析的参考依据,这也将直接关系到后续为 20#无缝钢管的质量提升及降低其工作环境失效风险发生率,提出合理化建议的实验依据和理论依据,以避免类似事故再次发生。

锅炉钢管内壁接触的是潮湿有氧环境,故而钢管内壁与水中的溶解氧会构成腐蚀电池。此腐蚀电池的阴阳极反应如下[2]:



本课题组在探究锅炉节能器 20#钢进水管腐蚀穿孔形成机理时发现,根据钢管内壁腐蚀坑的宏观形

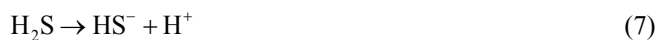
貌特征及其管壁附着物成分分析,可推断管内壁发生了氧腐蚀。钢管内壁的主要附着物是 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 , 其反应式如下[3] [4] [5]:



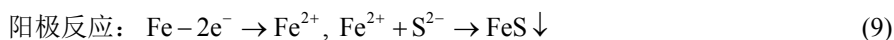
3. 高含硫环境

20#钢管在天然气管道中的应用也比较普遍。在天然气集输过程中,其服役于高含硫气环境中,会因 H_2S 引起管道内腐蚀, H_2S 腐蚀会造成管道局部减薄、穿孔、断裂等,破坏管道输气的稳定性[6] [7] [8] [9]。此腐蚀损伤会给油气田的开发及生产带来经济损失,污染环境,威胁人身安全等[10]。因此,明确 H_2S 对集输管道的腐蚀行为及机理,可以有效避免事故发生、降低经济损失及减少人员伤亡。

相关研究表明,干燥 H_2S 不具有腐蚀破坏性。但是,当 H_2S 溶于水后,会发生电离反应,造成金属材料腐蚀失效。电离反应方程式如下[10]:



对 20#钢管的集输管道而言,电离后的 H_2S 与 Fe 发生如下反应:



屈文涛等[11]对 20#无缝钢管在高含硫环境中腐蚀行为的研究发现,管道内表面的主要腐蚀产物为 Fe_2O_3 和 FeS_2 , 管道外表面的主要腐蚀产物为 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 , 及少量的 FeS_2 。此外,输气管道表面的氢鼓泡和氢致开裂现象是由于 H_2S 腐蚀过程中产生的 H_2 所致。钢铁因 H_2S 腐蚀而产生的腐蚀产物与其环境的 PH 值及 H_2S 浓度等参数有关[12], 腐蚀产物可能是 Fe_9S_8 、 Fe_3S_4 、 FeS_2 及 FeS 等[5] [8]。也有文献报道显示,较低浓度的 H_2S 会导致钢材表面形成致密的 FeS 膜,阻止 Fe 离子通过,可在一定程度上降低钢材的腐蚀速率;然而,较高浓度的 H_2S 会导致钢材表面形成黑色疏松分层状或粉末状的 FeS_2 膜,Fe 离子可轻易穿过,且与 Fe 形成原电池,加速钢材的腐蚀速率[7]。

4. 提高钢管耐腐蚀性的方法

1) 严格控制 20#钢管的质量

钢管质量的优劣直接关系其耐腐蚀性的强弱。如果钢管中的磷、硫含量较高,钢管易发生腐蚀。如果钢管中的碳、硅含量较高,钢管易发生脆性开裂,且在裂纹处发生腐蚀[13]。此外,钢管中含有的划痕、凹坑等缺陷位置也会成为腐蚀起点[14]。因此,应该严格把控 20#钢管的质量关。

2) 添加缓蚀剂

添加缓蚀剂可有效增强天然气输送管道外壁的耐腐蚀性及延长管道寿命,且成本低、可行性强、操作性强。然而,缓蚀剂类别的选择应参考管道自身特征(具体材质和强度参数)和其工作环境特征(土壤条件和天然气管道运输)。以实现使用最少量的缓蚀剂达到最佳的防腐蚀效果的目的[15]。

3) 涂覆涂层防腐

涂覆涂层防腐是增强管道耐腐蚀性的有效手段之一。在选择防腐涂层时,应充分考虑到工艺技术、

运输条件及工作环境等因素。此外,还应考虑到管道外壁接触环境的特征,选择合适的外壁防腐涂层,外壁防腐涂层为管道的第一道防线。常用的外壁涂层材料,如:增加水泥砂浆以及塑料绝缘层,喷涂环氧粉末以及沥青层等。管道内壁防腐涂层是指在管道内壁与输送介质之间建立隔离空间,避免管道内壁与腐蚀物直接接触,且减少管壁与管流之间的摩擦阻力。常用的内壁涂层材料,如:环氧树脂,聚酰胺环氧树脂,合成树脂等[16]。

20#钢管凭借其独特优势在各大领域备受青睐,然而其在高氧高硫环境中的腐蚀问题严重限制了其进一步发展。通过对其在高氧高硫环境中的腐蚀行为及腐蚀机理的分析可知,20#钢管在高氧环境中与氧构成了腐蚀电池发生了氧腐蚀,在高硫环境中主要发生了化学腐蚀。此外,根据20#钢管的服役环境,针对性地提出提高20#钢管耐腐蚀性能的方法。首先,从源头出发严把质量关,即严控20#钢管的自身质量,因为自身质量是基础及关键;其次,根据其服役特点制定相应的提高耐腐蚀性能的方法,即提出通过添加缓蚀剂或通过给管壁涂覆涂层阻隔腐蚀物质与管壁的接触达到提高其耐腐蚀性能。

5. 结语

综上所述,20#钢管被广泛应用于各个领域,其在服役期间会出现腐蚀失效行为,进而会造成经济损失、环境污染及人身危险。因此,掌握20#钢管在高氧环境和高硫环境中的腐蚀机理,对于采取合理措施降低管道发生腐蚀失效行为具有一定的指导意义,对于提高管道的服役寿命具有重要意义。

基金资助

唐山市科技计划项目(20130209b)。

参考文献

- [1] Das, A.K. (2010) The Present and the Future of Line Pipe Steels for Petroleum Industry. *Advanced Manufacturing Processes*, **25**, 14-19. <https://doi.org/10.1080/10426910903202427>
- [2] 田广, 高占洋, 宋玉柱. 某锅炉省煤器组腐蚀机理分析[J]. 锅炉制造, 2012, 11(6): 37-38.
- [3] 柯伟, 杨武. 腐蚀科学技术的应用和失效案例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 152.
- [4] 白龙. 锅炉氧腐蚀过程及其控制措施[J]. 全面腐蚀控制, 2019, 33(5): 87-91.
- [5] 张莹, 余建飞, 张明, 等. 开式冷却水管腐蚀穿孔失效分析[J]. 工业水处理, 2013, 33(11): 92-94.
- [6] 艾志久, 范钰玮, 赵乾坤. H₂S 对油气管材的腐蚀及防护研究综述[J]. 表面技术, 2015, 44(9): 108-115.
- [7] Gan, L.J., Huang, F., Zhao, X.Y., et al. (2018) Hydrogen Trapping and Hydrogen Induced Cracking of Welded X100 Pipeline Steel in H₂S Environment. *International Journal of Hydrogen Energy*, **43**, 2293-2306. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.11.155>
- [8] Han, P., Chen, C.F., Yu, H.B., et al. (2016) Study of Pitting Corrosion of L245 Steel in H₂S Environments Induced by Imidazoline Quaternary Ammonium Salts. *Corrosion Science*, **112**, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.07.006>
- [9] Zhao, W., Zou, Y., Matsuda, K., et al. (2016) Corrosion Behavior of Reheated CGHAZ of X80 Pipeline Steel in H₂S-Containing Environments. *Materials and Design*, **99**, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.03.036>
- [10] Lei, X.W., Wang, H.Y., Mao, F.X., et al. (2018) Electrochemical Behavior of Martensitic Stainless Steel after Immersion in a H₂S-Saturated Solution. *Corrosion Science*, **131**, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2017.10.015>
- [11] 屈文涛, 郭凯伦, 青松, 等. 高含硫环境下20号无缝钢管腐蚀行为研究[J]. 机械研究与应用, 2019, 32(6): 42-46.
- [12] Zhou, C.S., Zheng, S.Q., Chen, C.F., et al. (2013) The Effect of the Partial Pressure of H₂S on the Permeation of Hydrogen in Low Carbon Pipeline Steel. *Corrosion Science*, **67**, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.10.016>
- [13] 李德刚. 石油天然气管道的腐蚀与防护研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(21): 20-21.
- [14] 杨永亮. 石油天然气管道腐蚀及其防护措施研究[J]. 当代化工研究, 2021(2): 90-91.
- [15] 李建刚. 天然气管道腐蚀及其防护措施研究[J]. 清洗世界, 2021, 37(12): 153-154.
- [16] 冯斌, 林维伟. 长输天然气管道腐蚀的形成与防护措施[J]. 化学工程与装备, 2021(8): 161-162.