

SMA 内加固油气管道粘结界面性能劣化研究

刘宗超¹ 梁俊波² 费忠宇² 腾帅²

1 广州铁路职业技术学院 2 广州大学

DOI:10.12238/btr.v7i4.4463

[摘要] 为将形状记忆合金用于石油管道内部加固并确保良好的加固效果,需要对粘结界面在石油侵蚀环境下的性能劣化规律开展研究。本文配置了石油模拟溶液,对市场上常用的粘钢胶制作的单剪试件进行了60天和90天腐蚀,随后开展了单剪破坏试验,分析了石油侵蚀前后界面粘结性能变化。实验表明,经石油腐蚀后粘结界面极限滑移量和承载力均出现明显衰退。但在经过60天腐蚀后,界面性能趋于稳定。本文结果为石油环境下SMA加固性能的评估提供了依据。

[关键词] 石油侵蚀; 粘结界面; 单剪试验; SMA加固

中图分类号: TE62 文献标识码: A

Study on deterioration of bonding interface properties of SMA reinforced steel pipe under petroleum corrosion conditions

Zongchao Liu¹ Junbo Liang² Zhongyu Fei² Shuai Teng²

1 Guangzhou Railway Vocational and technical College 2 Guangzhou University

[Abstract] In order to use shape memory alloys for internal reinforcement of oil pipelines and to ensure good reinforcement effect, it is necessary to study the deterioration law of bonding interface under oil erosion environment. In this paper, the oil simulation solution was used to corrode the single shear specimen made of steel adhesive commonly used in the market for 60 days and 90 days, and then the single shear failure test was carried out to analyze the change of interface bonding properties before and after oil erosion. The experimental results show that the ultimate slippage and bearing capacity of the bond interface decrease obviously after oil corrosion. However, after 60 days of corrosion, the interface properties tend to be stable. The results of this paper provide a basis for the evaluation of SMA reinforcement performance in petroleum environment.

[Key words] oil erosion; Bonding interface; Simple shear test; SMA reinforcement

前言

油气管道作为我国工业经济的大动脉,具有点多、线长、分布范围广等特点,极易受到环境腐蚀、焊接缺陷、第三方破坏、地质灾害等因素的威胁,增加了失效风险^[1,2]。裂纹是油气管道最常见、最危险的失效形式,由于未得到及时修复而造成的管道泄漏和爆炸事故将对公共安全、环境污染等带来巨大损失^[3]。

预应力主动修复技术可以修复已有裂纹,并且可改善应力滞后现象。预应力加固是工程结构主动加固的主要形式,也是近年来研究的热点。目前应用最广的是预应力纤维复合材料(FRP)技术,但该技术预应力的产生需要在管道表面锚固重型张拉装置,工艺技术复杂,作业空间要求高,并且容易对管道带来新的损伤。形状记忆合金材料(Shape memory alloy, SMA)独特的形状记忆功能也可以对结构产生预应力进而加固工程结构^[4]。该

方法以粘贴加固为主,操作简便,无需大型预应力张拉和锚固设备,对施工空间要求不高,且不会对结构带来新的损伤^[5]。同时,利用SMA开展管道的内加固,可以避免大量开挖施工作业,降低对路面交通的影响。但管内石油环境对粘结界面的侵蚀会影响SMA加固效果的耐久性,因此需要探索石油环境下SMA加固粘结界面力学性能劣化规律。

目前基于SMA开展石油管道的内加固研究尚未见报道,管道内环境侵蚀对粘结界面的性能退化作用尚不明确。本文选取了市面常用粘结剂,配置了石油环境模拟溶液,开展了粘结界面的腐蚀实验。随后通过单剪试验和力学行为分析,总结了粘结界面在腐蚀条件下的劣化规律。本文可为石油环境下SMA加固结构的性能评估提供了依据。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

为制作SMA板-钢材的单剪试件, 试验材料包括NiTi-SMA板, 粘结剂和钢板。本文粘结剂的选择主要考虑其耐腐蚀性和对金属的粘结效果。最终选定采用东莞市聚力新材料科技有限公司生产的JL-112(A/B)型钢质修补剂。JL-112(A/B)结构胶分为A(主剂)和B(固化剂)两种组分, 按7: 1的重量比进行混合。

NiTi-SMA板的长度为300mm, 宽度为15mm, 厚度为1mm, 钢板的长度210mm, 宽度为100mm, 厚度为15mm, 钢板上制作8个直径10mm的螺孔, 以便能够将试件固定在单剪夹具上, 钢板种类为Q345。

侵蚀实验采用石油模拟溶液进行浸泡腐蚀, 腐蚀介质是成品油管道沉积物的模拟流体, 其主要成分如表1所示^[6]。侵蚀实验在室温下进行, 单剪试件分为两组, 完全浸泡在石油溶液中, 分别于60和90天后取出试件, 随后开展单剪试验, 获取其力学性能。

表1 模拟石油溶液成分表

化学成分	NaHCO ₃	MgSO ₄	CaCl ₂	NaCl	K ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄
浓度(mg/L)	2100	35	85	680	7	850

1. 2单剪试件设计

单剪试件设计如图1所示, NiTi-SMA板粘贴在钢板的中间, 在加载端和自由端分别预留15mm的粘结区域。在试件设计中, 为保证粘结界面长度达到有效粘结长度, 本文设计粘结长度为180mm, 粘结剂的厚度设计为1mm。

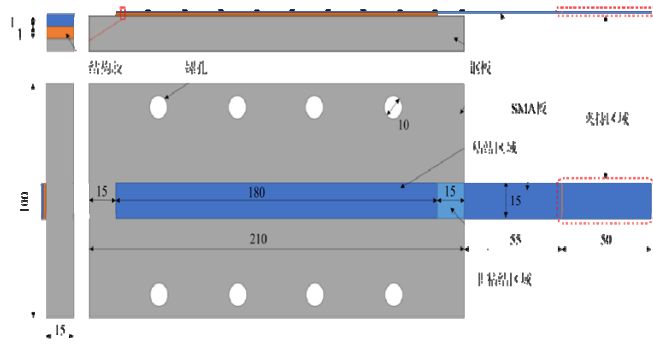


图1 单剪试件设计图

1. 3单剪试件制备

单剪试件的制备主要分为以下三个步骤: 钢板表面处理、NiTi-SMA板表面处理、粘贴NiTi-SMA板。其中钢板和NiTi-SMA板表面粗糙(喷砂)处理是单剪试件制备过程中较为关键的两步, 如果其表面粗糙处理的不到位, 则导致钢板和粘结剂之间, NiTi-SMA板和粘结剂之间的胶接力变小, 从而导致NiTi-SMA板和钢板之间粘结界面的抗剪承载力变小。本文所采用的喷砂设备为法耐9080型手动喷砂机。喷砂的气压为7kg/cm², 在粘贴NiTi-SMA板的划线区域喷60s, 喷砂采用的砂为16目棕刚玉。在

对SMA板进行喷砂时需要将SMA板的两个面都进行喷砂处理, 这是因为在喷砂过程中SMA会由于高温和受到高速冲击下变形, 因此SMA板的两个表面都需要进行喷砂处理, 以保证SMA板喷砂处理后其形状不发生变化。喷砂结束后, 再用棉球蘸取酒精将粘结表面彻底清洗干净, 晾干干燥, 保证粘结质量。

本文采用1wt%的玻璃球(直径1mm)与粘结剂适当混合控制粘结层厚度。将试件所需粘结剂A胶与B胶按质量比7: 1的比例进行配置, 然后再加入1wt%的玻璃球, 采用低速、单向的方式充分搅拌, 而且应避免在搅拌的过程中产生气泡。

1. 4单剪试验装置与数据采集

本文采用的单剪试验装置如图2所示, 主要由四部分组成: 顶板、底板、螺杆、拉杆。拉杆和底杆焊接在一起, 再由拉杆固定在万能试验机上, 顶板的作用是阻碍试件在拉伸过程中发生移动, 螺杆将顶板和底板连接在一起形成一个框架。

试验加载采用万能试验机进行, 加载采用位移控制, 速度为0. 3mm/min, 直至试件发生破坏。本文单剪试验当中, 需要数据有界面的极限承载力, 用于直观反映粘结界面性能。

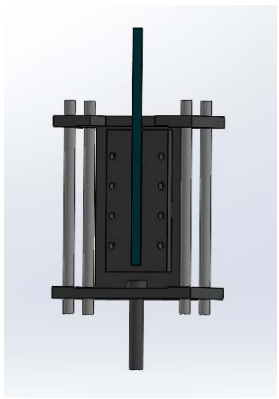


图2 单剪夹具

2 结果与讨论

腐蚀前后SMA-钢界面承载力结果如图3(a)-(c)所示。单剪过程中, 三组试件的荷载-滑移曲线趋势相近, 可分为三个阶段: 快速上升达到极值, 快速下降后缓慢上升。这是由于单剪试件破坏是从端部开始剥离, 此时中部界面还没有破坏, 继续发挥承载能力直至整个界面完全破坏。腐蚀前单剪试件的极限滑移量接近2mm, 而在腐蚀60天和90天后极限滑移量仅为1mm, 且腐蚀60天和90天后的极限滑移量十分接近。与腐蚀前相比, 界面极限抗滑移能力降低约50%。图3(d)给出了界面承载力随腐蚀天数的变化规律。腐蚀前, 极限承载力均值为5. 96kN。经过60天和90天的腐蚀, 承载力分别降为5. 12kN和4. 96kN, 下降了14. 1%和16. 8%。而90天腐蚀后相较于60天腐蚀, 承载力仅下降了3%。因此可以预测, 在腐蚀前2个月内, 承载力下降最快, 腐蚀三个月后承载力变化较弱。结合前述界面滑移结果, 可以得出, 对SMA加固油气管道工艺, 需重点关注和评估前两个月内的加固效果衰减, 以提升SMA加固工艺可行性和可靠性。

3 结语

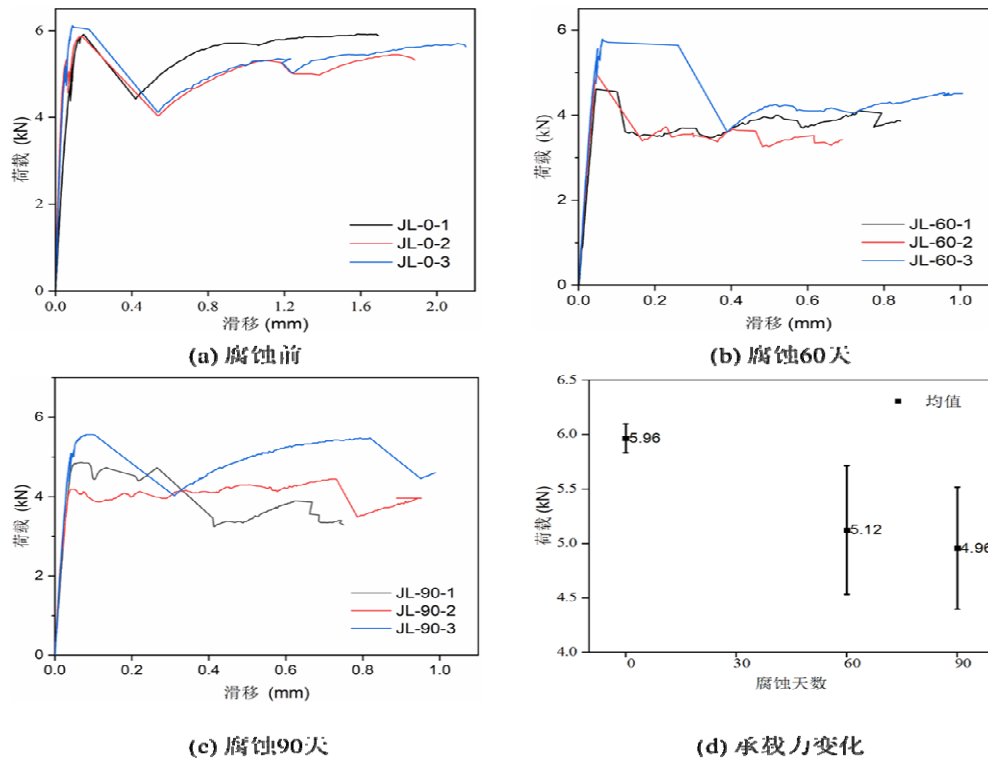


图3 腐蚀前后粘结界面承载力变化

本文从利用SMA对石油管道开展预应力内加固的角度,探讨石油侵蚀环境下SMA-钢界面承载力退化情况。通过配置石油模拟溶液,对SMA-钢单剪试件分别进行了60天和90天的侵蚀试验,随后开展了单剪破坏试验,通过分析界面滑移极限和界面极限承载力结果得到了石油侵蚀下对粘结界面的性能退化规律。结果表明,经腐蚀后粘结界面力学性能出现明显衰退。但在经过60天腐蚀后,界面性能趋于稳定。本文的研究对石油环境下SMA加固效果的衰减提供了评估依据,为改进基于SMA的石油管道内加固技术提供了数据支撑。

[基金项目]

国家自然科学基金青年项目《复杂流体环境下SMA贴片内加固带裂纹压力管道的失效机制及耐久性设计方法研究》;项目编号: 52208309。

[参考文献]

[1] Li X., Chen G., Zhu H. Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2016, 103:163-173.

[2] Yan H., Yang X., Hou X., Wang L., Li P. Research on the Performance of a New External Occlusion Device for Pressure Vessel Leakage[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2020, 66:668-676.

[3] 李荣光, 张巍, 于憬, 等. 《油气管道管体缺陷修复技术规范》解读[J]. 石油工程建设, 2020, 46(3):88-92.

[4] 刘宗超, 梁俊波, 费忠宇, 等. 镍钛基形状记忆合金板最大回复应力实验研究[J]. 工业技术, 2024, 6(2):64-66.

[5] Rius J.M., Cladera A., Ribas C., et al. Shear strengthening of reinforced concrete beams using shape memory alloys[J]. Construction and Building Materials, 2019, 200:420-435.

[6] Wang Z., Zhou Z., Xu W., et al. Study on inner corrosion behavior of high strength product oil pipelines. Engineering Failure Analysis, 2020, 115:104659.

作者简介:

刘宗超(1991--),男,汉族,河南省禹州市人,博士研究生,讲师,广州铁路职业技术学院,研究方向:智能材料,结构加固,计算力学。