

海底管道复合材料防腐修复技术应用进展

安波

广东白云学院, 广东 广州 510000

[摘要]海底管道作为海洋资源开发的重要基础设施,其长期处于复杂的海洋环境中,容易受到腐蚀和损坏的影响。复合材料作为一种新型材料,在其防腐修复领域具有广泛的应用前景。文章将探讨海底管道复合材料防腐修复技术的应用进展,分析国内外的相关案例和技术发展情况。通过对国内外相关应用的分析,了解复合材料在海底管道修复中的具体应用情况和技术进展,为海底管道的维护和管理提供有益参考。

[关键词]海底管道; 复合材料; 防腐

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13427

中图分类号: TE988.2

文献标识码: A

Application Progress of Composite Material Anti-corrosion Repair Technology for Submarine Pipelines

AN bo

Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract: As an important infrastructure for the development of marine resources, submarine pipelines are exposed to complex marine environments for a long time and are easily affected by corrosion and damage. Composite materials, as a new type of material, have broad application prospects in the field of anti-corrosion repair. The article will explore the application progress of composite material anti-corrosion repair technology for submarine pipelines, analyze relevant cases and technological development at home and abroad. By analyzing the relevant applications at home and abroad, we can understand the specific application and technological progress of composite materials in the repair of submarine pipelines, and provide useful references for the maintenance and management of submarine pipelines.

Keywords: submarine pipeline; compound material; anti-corrosive

引言

海底管道在输送油气等能源资源过程中,长期受到海水、化学物质及微生物的侵蚀,导致腐蚀损伤严重,影响管道的安全运行和寿命。传统的防腐修复方法存在效果不彰、维护成本高等问题^[1]。因此,海底管道复合材料防腐修复技术成为当前研究的热点。该技术利用耐腐蚀性强、抗拉强度高的复合材料进行管道表面修复和保护,具有耐海水腐蚀、轻质高强、施工便捷等优点,能有效延长海底管道的使用寿命,提升其在能源输送中的安全性和经济性。

1 技术发展

海底管道复合材料防腐修复技术是近年来在管道工程领域中快速发展的一项重要技术。传统的海底管道防腐修复方法,如阴极保护和涂层保护,虽然有效,但面临着材料耐久性差、施工复杂及维护成本高等问题。复合材料防腐修复技术因其独特的优势逐渐受到关注和应用。

复合材料具有优异的耐腐蚀性能,能有效抵御海水中的腐蚀介质和微生物侵蚀,长期保持其结构完整性。复合材料通常由玻璃纤维、碳纤维等高强度纤维和环氧树脂等高耐化学腐蚀性树脂组成,具有良好的耐候性和化学稳定性,适合长期水下使用。复合材料的轻质高强特性使得其

在海底管道修复中具备了明显的优势。相较于传统的金属材料,复合材料的密度轻,强度高,不仅可以减轻管道的自重,降低海底沉降风险,还能提高管道的抗拉强度和耐久性。

2 国内管道复合材料修复技术应用

2.1 中石油管道复合材料修复技术应用

中石油作为中国最大的石油和天然气生产公司之一,长期以来面临着油气输送管道老化、腐蚀等问题,这直接影响到管道的安全运营和能源效率。为解决这些问题,中石油积极引入和发展了管道复合材料修复技术,该技术被广泛应用于管道的维护和修复工作中,以提高管道的服役寿命和安全性能。

复合材料修复技术主要利用具有高强度、耐腐蚀和轻质特性的复合材料对受损管道进行修复。这种材料通常由多种不同的纤维(如碳纤维、玻璃纤维)和树脂(如环氧树脂)组成,通过特定的工艺方法制成预浸料带或修复套件。在修复过程中,技术人员会首先对受损的管道进行表面处理,去除锈蚀和杂质,然后将预浸好的复合材料按照一定的层次和方向缠绕在管道受损部位,通过加热或自然条件下固化,使复合材料与管道表面形成牢固的结合。

中石油在应用这一技术过程中,注重技术的创新和优化。例如,公司开发了自动化复合材料缠绕设备,提高了修复作业的效率和质量。中石油还通过与国内外科研机构 and 高校合作,不断对材料的性能进行测试和改进,以适应不同环境和压力条件下的需要。复合材料的轻质特性减轻了运输和安装过程中的劳动强度,而高强度和耐腐蚀性确保了修复后管道的长期稳定运行。复合材料修复技术的应用范围也从输油管线扩展到了城市燃气管线、化工厂管线以及海底管线等多个领域。

中石油的管道复合材料修复技术的应用不仅提高了管道系统的可靠性和经济性,还推动了该领域技术的发展和革新,为全球石油和天然气行业的安全和环保提供了重要贡献^[2]。

2.2 海底管道复合材料修复技术应用

海底管道作为连接海上石油及天然气开采平台与陆地设施的重要通道,在全球能源供应链中扮演着至关重要的角色。由于海底环境特殊,这些管道常常暴露于极端的环境条件下,如高盐腐蚀、水压大和机械撞击等,这些因素都可能导致管道的损伤或老化。近年来,复合材料因其优越的机械性能和耐腐蚀性,已成为海底管道修复的理想选择。

在海底管道的复合材料修复技术中,通常会使用玻璃纤维或碳纤维加强的环氧树脂复合材料。这些复合材料具有良好的强度和柔韧性,可以有效地承受海底高压和动态环境的影响。修复过程首先是对受损管道进行彻底的清理,移除生物附着物和腐蚀产物,确保修复区域的清洁。接着,技术人员会根据损伤程度裁剪合适尺寸的复合材料片段,使用特制的水下胶粘剂将复合材料层层贴合在损伤部位上。

考虑到海底作业的复杂性和成本,现代海底管道修复技术还结合了机器人技术。例如,使用遥控操作的水下机器人(ROV)来执行修复任务,可以减少潜水员的直接介入,提高修复作业的安全性和效率。ROV装备有摄像头和操作臂,能在恶劣的海床环境中精确地完成复合材料的裁剪、定位和固化工作。此技术能够应对从小规模裂纹到大面积损伤的各种情况,确保了能源的连续供应和海洋环境的保护。

2.3 国内企业管道复合材料修复技术应用

在我国,随着工业化和城市化的加速发展,管道输送系统在石油、天然气、化工等行业中发挥着至关重要的作用^[3]。由于长期运行和复杂多变的环境因素,国内的企业管道常常面临着腐蚀、磨损等多种损伤问题。国内许多企业开始采用复合材料修复技术来延长管道的使用寿命和提高其安全性能。

国内企业在管道复合材料修复技术的应用上,主要集中在使用高性能的玻璃纤维和碳纤维加强的环氧树脂系统。这些复合材料能够提供优越的机械强度和极佳的耐化学性,特别适用于化工和海洋石油开采等领域的管道修复。

企业在执行修复工作时,通常会首先进行管道的表面准备,包括清理管道表面的腐蚀和杂质,然后按照损伤情况裁剪合适的复合材料,并采用专用黏接剂将其固定在损伤区域。此过程中,精确的材料配比和固化控制是保证修复质量的关键。

随着技术的进步,国内企业也在不断尝试将自动化和机器人技术融入管道修复作业中。例如,有些企业已经开始使用自动化的涂装系统和机器人来施加和固化复合材料,这不仅提高了修复作业的效率,也提升了修复质量的一致性。

3 国外管道复合材料修复技术应用

3.1 法国天然气公司高压天然气管网复合材料修复技术应用

在法国,高压天然气管网是国家能源系统的重要组成部分,保障其安全和高效运行是法国天然气公司的核心任务。法国天然气公司积极采用复合材料修复技术来处理 and 预防管道系统中的损伤和老化问题,这一技术已成为其管道维护策略的关键部分。

复合材料修复技术在法国高压天然气管道中的应用,主要利用先进的碳纤维和玻璃纤维加强的环氧树脂材料。这些材料不仅具备高强度和优异的耐腐蚀性,还能够承受高压操作环境的需求。在实际应用过程中,技术人员首先会对管道进行彻底的检查,确定损伤的性质和程度,然后清理并磨平受损区域,以确保修复材料能够有效附着。

修复工作通常包括将预先浸渍的复合材料贴合在管道的受损部位,使用专门的固化技术如热固化或紫外线固化来加速修复材料的硬化过程。这种修复方法不仅显著提高了管道的机械强度,还确保了修复部位的密封性和耐久性。法国天然气公司还采用了一些创新技术,例如使用机器人和自动化设备来施加和固化复合材料,这不仅提高了修复作业的精确性,也缩短了维修时间,减少了对管网运营的影响。随着复合材料技术的不断进步和成熟,法国天然气公司已能够在更广泛的管道系统中应用此技术,包括那些位于特别恶劣环境中的管道。这一策略不仅增强了管道的安全性,也延长了其运营寿命,同时还为公司带来了经济效益。

3.2 法国 3X 工程公司复合材料修复技术应用

法国 3X 工程公司是一家专注于管道维护和修复的技术先锋,其开发的复合材料修复技术在全球范围内受到高度评价。该公司的技术主要针对油气、水处理以及化工行业中的管道系统,特别是在处理高压和高腐蚀环境下的管道损伤方面表现出色。

3X 工程公司的复合材料修复方案主要使用高性能的玻璃纤维和碳纤维复合材料,这些材料能够提供出色的机械强度和耐化学性能。在实际应用过程中,首先由专业团队对受损管道进行全面的评估,包括使用超声波和 X 射线

进行损伤深度和范围的检测。检测后，技术人员会根据损伤情况制定个性化的修复方案，以确保修复措施的针对性和有效性。修复过程中，3X 工程的专业人员会先对受损区域进行表面处理，包括清洁和磨平，然后根据管道的具体条件选择合适的复合材料和树脂系统。复合材料层会被精确地裁剪并贴合在受损区域上，使用特定的树脂进行浸渍，以确保材料之间的优良粘接。此后，树脂会在控制的条件下固化，形成一个坚固的复合层，这个复合层不仅可以恢复管道的结构完整性，还能增加其耐蚀性和耐压性。3X 工程公司使用的固化技术可以是常温固化或热固化，具体取决于现场条件和所需的性能标准。

3X 工程公司在修复技术的应用上也非常注重环境保护和安全性。他们使用的复合材料和树脂系统都符合国际环保标准，确保在修复过程中对环境的影响最小。3X 工程公司的复合材料修复技术已经在多个国家和行业中得到应用，包括在极端环境下的海底管道修复和高温高压工况下的石油管道修复。

3.3 美国加州海上管线复合材料修复技术应用

美国加州是一个地震频发区，同时拥有大量的海上石油和天然气开采设施，这些设施的管线系统经常面临极端的环境挑战，如海水腐蚀、地质活动引起的物理应力等。为应对这些挑战，加州的海上管线经常采用先进的复合材料修复技术来保障管线的安全与可靠性。这种技术利用高性能的复合材料来包覆和加固已有的金属管线，从而提高其结构强度和耐蚀性能^[4]。

在具体的实践中，团队首先会对受损管线进行彻底的检查和清理，移除管线表面的腐蚀产品和杂质。接着，使用专门设计的树脂系统，如环氧树脂或乙烯基酯树脂，这些树脂不仅具有极好的粘接性能，还能在海洋环境中提供长期的化学稳定性。修复材料通常是预浸涂层的纤维增强塑料（FRP），这些材料会根据管道的直径和损伤程度量身定做，确保可以紧密贴合在原有管道上。

为增加修复的持久性和有效性，加州的技术团队还会采用先进的固化技术，比如使用紫外线或热固化系统来促进树脂的硬化，这样可以确保修复层与原管道之间的牢固结合。完成固化过程后，技术团队会进行压力测试和完整性评估，确保修复后的管线可以承受未来的操作压力和环境挑战，不仅有效延长了管道的使用寿命，降低了更换成本，还因其施工速度快、对环境影响小而受到了广泛的应用。

3.4 美国 Clock Spring 湿缠绕法复合修复技术应用

美国 Clock Spring 公司开发的湿缠绕法复合材料修复技术，是一种用于管道和基础设施维修的创新解决方案，广泛应用于石油、天然气以及水处理行业中的管道修复。这种技术特别适合于修复由于腐蚀、机械损伤或环境因素

引起的管道损伤。Clock Spring 的湿缠绕法利用预浸透的纤维增强塑料（FRP）带，这些带材在应用之前已经被充分浸润在特制的树脂中，如环氧树脂，这些树脂具有极高的黏结力和耐化学腐蚀性能。

在具体的修复过程中，首先需要受损的管道进行表面准备，包括清理和打磨，以确保树脂和纤维带可以牢固地粘贴在管道表面。之后，将预浸透的 FRP 带按照特定的张力和角度缠绕在管道的受损区域，确保每一层都均匀且紧密地覆盖在前一层之上。缠绕完成后，应用外部压力或热量来促进树脂的固化过程，这一步骤对于形成坚固的复合材料修复层至关重要。

Clock Spring 的湿缠绕技术不仅可以迅速地恢复管道的机械强度，还能显著提高其耐腐蚀性和耐磨性。由于这种方法的高效性和可靠性，它能够大幅减少停机时间和维修成本，特别是在无法拆除或替换整段管道的情况下，提供了一种经济有效的解决方案。此外，由于使用的材料和技术符合环保标准，这种修复方法还减少了环境影响。

Clock Spring 的湿缠绕法因其操作简便和施工快速的特点，在全球范围内得到了众多行业的认可和应用。这种技术不仅应用于新的管道安装，也被用于老化管道的维护和寿命延长，有效支持了关键基础设施的持续运营和安全生产。

4 结束语

海底管道复合材料防腐修复技术的应用进展展示了在管道维护和修复领域的巨大潜力和发展空间。国内方面，中石油及其他企业在管道修复领域积极探索和应用复合材料技术，取得了一定的进展和成果。而国外的应用案例，如法国、美国等地的天然气和海上管线，采用了多种复合材料修复技术，有效提升了管道的安全性和耐久性。未来，随着技术的不断发展和实践经验的积累，海底管道复合材料防腐修复技术将在全球范围内得到更广泛的应用和推广，为海底管道运维和环境保护提供可靠的解决方案。

[参考文献]

- [1] 刘军, 张传旭, 曲杰. 海底管道外腐蚀复合材料水下缠绕补强修复技术应用[J]. 海洋工程装备与技术, 2023, 10(4): 24-29.
- [2] 姜蕊, 邢金铭, 刘洋, 等. 海底管道复合材料防腐修复技术应用进展[J]. 涂层与防护, 2023, 44(11): 1-5.
- [3] 张国庆, 于莹, 刘洪娟. 深水管道防腐涂层耐热水浸泡试验设计及应用研究[J]. 涂料工业, 2022, 52(9): 81-87.
- [4] 姜阳. 海底管道防腐质量管控[J]. 清洗世界, 2022, 38(4): 7-9.

作者简介：安波（1979.8—），单位名称：广东白云学院，毕业学校和专业：东北大学，项目管理。