

石油化工管道焊缝缺陷在线修补技术分析

刘涛

长庆油田分公司第十采油厂生产保障大队, 甘肃 庆阳 745100

[摘要] 石油化工行业中, 管道系统输送着大量的原料和产品, 其安全性对整个行业的稳定运行起着决定性的作用。然而, 在管道系统的运行过程中, 焊缝作为管道系统的薄弱环节, 缺陷可能会导致管道系统的泄漏、破裂等严重事故, 从而对生产和人员安全造成重大影响。因此, 对管道焊缝缺陷进行在线修补技术的研究和应用具有重要的意义。文章针对石油化工管道焊缝缺陷问题, 分析了在线修补技术的发展现状, 并对现有技术进行了详细探讨, 以期为石油化工管道的维护和管理提供技术支持。

[关键词] 石油化工; 管道焊缝缺陷; 在线修补; 技术分析

DOI: 10.33142/aem.v6i8.13262

中图分类号: TE65

文献标识码: A

Analysis of Online Repair Technology for Weld Defects in Petrochemical Pipeline

LIU Tao

Production Support Brigade of No. 10 Oil Production Plant of Changqing Oil Field Branch, Qingyang, Gansu, 745100, China

Abstract: In the petrochemical industry, pipeline systems transport a large amount of raw materials and products, and their safety plays a decisive role in the stable operation of the entire industry. However, in the operation of pipeline systems, welds are the weak link of the pipeline system, and defects may lead to serious accidents such as leaks and ruptures, which have a significant impact on production and personnel safety. Therefore, the research and application of online repair technology for pipeline weld defects are of great significance. This article analyzes the development status of online repair technology for the problem of pipeline weld defects in the petrochemical industry, and discusses in detail the existing technology, in order to provide technical support for the maintenance and management of petrochemical pipelines.

Keywords: petrochemical industry; defects in pipeline welds; online repair; technical analysis

引言

石油化工管道在生产过程中, 由于材料、加工、使用寿命等因素, 焊缝缺陷现象时常出现。焊缝缺陷的存在会导致管道局部强度降低, 甚至引发管道断裂、泄漏等严重事故。传统的管道修补方法通常需要停工、切割、焊接等操作, 不仅耗时耗力, 而且对管道系统的完整性造成一定影响。随着科技的发展, 在线修补技术逐渐成为石油化工管道焊缝缺陷修复的主流方法。

1 在线修补技术发展现状

随着科技的发展, 针对管道焊缝缺陷的在线修补技术逐渐成熟。目前, 主要分为两大类。一类是热喷涂技术, 另一类是焊接技术。

1.1 热喷涂技术

热喷涂技术是一种在管道焊缝缺陷处喷涂一层高温熔融材料, 以达到修补缺陷的目的。该技术具有施工速度快、对管道影响小等优点。热喷涂技术主要分为以下几个步骤:

(1) 表面处理。对焊缝缺陷进行清洁、去除氧化皮等处理, 以提高喷涂层的附着力, 确保喷涂层的牢固。

(2) 喷涂。将高温熔融材料通过喷枪喷涂在焊缝缺陷处, 形成一层均匀的喷涂层。

喷涂过程中, 喷枪的距离、喷涂速度等参数都需要严格控制, 以保证喷涂层的均匀性和厚度^[1]。

(3) 冷却固化。喷涂层在空气中自然冷却固化, 形成具有一定强度和耐腐蚀性的修补层。在这个过程中, 需要控制好喷涂层的冷却速度, 以保证其性能。冷却固化后, 喷涂层将形成坚固的保护层, 能够有效地修复焊缝缺陷, 提高管道的使用寿命。

1.2 焊接技术

焊接技术是一种通过焊接方法对管道焊缝缺陷进行修补的技术。焊接技术主要包括以下几个步骤。

(1) 表面处理: 对焊缝缺陷进行清洁、去除氧化皮等处理, 以有效地提高焊接质量, 防止焊接过程中产生气孔、裂纹等焊接缺陷。

(2) 焊接: 采用合适的焊接方法(如氩弧焊、电弧焊等)对焊缝缺陷进行焊接, 填充缺陷部位。根据焊缝缺陷的性质和大小, 选择合适的焊接方法进行焊接, 在焊接过程中, 需要控制焊接电流、电压和焊接速度等参数, 以保证焊接质量。

(3) 焊后处理: 对焊接接头进行冷却、打磨等处理, 以消除焊接应力和提高接头强度。焊后处理还包括对焊接接头进行检测和评估, 以确保焊接质量符合要求。

在实际应用中,焊接技术还需要根据不同的材料和焊接环境进行相应的调整和优化。例如,对于不同材料的焊接,需要选择合适的焊接材料和焊接参数。对于不同的焊接环境,需要采取相应的防护措施,如防风、防雨、防尘^[2]。

2 管道焊缝缺陷在线修补技术原理

管道焊缝缺陷在线修补技术主要是利用专用设备对管道焊缝进行检测和评估,然后通过机械手臂等自动化装置实现对缺陷部位的修复。

(1) 缺陷检测。通过超声波、射线、磁粉等无损检测方法对管道焊缝进行缺陷检测,确定缺陷的位置、大小和形状。目前,常用的缺陷检测方法有超声波检测、射线检测和磁粉检测等。超声波检测是通过超声波探头向焊缝发送超声波,根据超声波在焊缝中的传播情况来判断焊缝是否存在缺陷。射线检测则是利用射线穿透焊缝,根据射线在焊缝中的吸收情况来判断焊缝是否存在缺陷。磁粉检测则是利用磁场和磁粉来检测焊缝中的缺陷^[3]。

(2) 缺陷评估。根据检测结果,对缺陷进行评估,确定修补方法和修补材料。在检测出焊缝缺陷后,需要根据缺陷的大小、形状和位置,以及管道的运行条件和使用要求来进行。例如,对于一些较小的缺陷,可能只需要进行简单的打磨和补焊;而对于一些较大的缺陷,则需要进行更复杂的修复工作,比如采用特殊的修补工艺。

(3) 修补设备准备。根据评估结果,准备相应的修补设备和材料。修补设备通常包括机械手臂、修补枪等,这些设备需要与修补材料配合使用。修补材料的选择也非常重要,需要根据缺陷的类型和大小,以及管道的材质和运行条件来选择。常用的修补材料包括焊接材料、橡胶材料、塑料材料。

(4) 在线修补。通过机械手臂等装置将修补材料涂抹在缺陷部位,实现对缺陷的修复。在线修补不仅可以提高修复的效率,还可以减少对管道运行的影响,从而提高管道的运行效率和安全性能。

3 在线修补技术分析

目前,石油化工管道焊缝缺陷在线修补技术主要包括热喷涂、冷喷涂、环氧涂层、纤维增强复合材料等方法。

(1) 热喷涂。石油化工行业中,管道系统承担着至关重要的角色,负责输送各种介质,如原油、天然气、化工产品。然而,由于内压、外力、腐蚀等因素的影响,管道在使用过程中可能会出现损伤和缺陷,尤其是焊缝处,是管道泄漏和破裂的高发区域。传统的管道修补方法往往需要停工、切割、更换部件等,不仅耗时长、成本高,而且对生产造成的影响较大。随着技术的进步,出现了焊缝缺陷在线修补技术,其中热喷涂技术以其独特的优势,成为了石油化工管道焊缝缺陷修补的重要手段。

热喷涂技术的核心在于利用高温火焰将金属材料熔化至液态,随后高速喷射到管道缺陷处,迅速冷却凝固形

成一层保护层。这一过程必须在严格控制的环境下进行,以确保喷涂材料的均匀性和致密性、并与管道基体的良好附着。由于热喷涂材料通常选用与管道基材相同的或兼容的材料,因此喷涂层不仅能覆盖缺陷,还能与管道形成统一的整体,有效恢复管道的结构和力学性能。

在实际应用中,热喷涂技术特别适用于现场不能停机或难以进行大规模维修的管道。其优点在于施工速度快,可以在极短的时间内完成修补工作,对管道的正常运行影响最小化。此外,热喷涂层与管道的结合强度高,能够承受介质压力和环境应力,防止缺陷进一步扩展,延长管道的使用寿命。尽管热喷涂设备的初始投资相对较高,但在长期运行中,其经济效益和安全性是非常明显的。然而,热喷涂技术对施工环境和条件有一定的要求。例如,在潮湿或多风的环境中,喷涂效果会受到影响,因此需要在适宜的气候条件下进行。同时,操作人员需要经过专业培训,确保施工安全和高标准质量控制。尽管存在这些挑战,热喷涂技术在石油化工行业中仍然得到了广泛应用,并不断发展完善,以满足日益增长的管道维护需求。

(2) 冷喷涂。从技术原理上讲,冷喷涂技术是在室温条件下,通过高速射流将金属或非金属材料直接喷涂到管道焊缝的缺陷部位。由于是在室温下进行,所以无需对管道进行复杂的预处理,如加热或者冷却等,大大简化了施工流程。从设备角度来看,冷喷涂技术所使用的设备相对简单,不仅便于携带,而且安装和操作也相对容易。这使得冷喷涂技术可以在各种复杂的现场环境中进行有效的应用,尤其是在那些难以到达的地方,其优势更为明显。

冷喷涂技术是室温下的喷涂方法,通过高速射流将金属或非金属材料直接喷涂在管道焊缝的缺陷部位。相较于传统的修补方法,冷喷涂技术具有显著的优势。首先,该技术设备简单,施工方便,可以在现场快速实施,节省了人力物力成本。其次,由于是在室温下进行喷涂,所以对管道本身的影响较小,不会引起管道的变形或损坏。此外,冷喷涂技术还具有施工速度快、涂层厚度可控、涂层质量好等特点。由于涂层与基体结合强度相对较低,冷喷涂修复的管道在短期内可能出现脱落、开裂等现象,影响修复效果。为了提高涂层与基体的结合强度,研究人员尝试了对冷喷涂工艺进行改进,如采用预处理措施提高基体表面的活性,从而增强涂层与基体的结合力。

(3) 环氧涂层。石油化工行业中,管道系统输送着各种高温、高压和具有腐蚀性的流体介质,由于内压、外力、介质腐蚀以及制造或安装过程中的种种原因,管道焊缝缺陷问题时有发生,不仅威胁着管道系统的完整性和生产安全,还可能造成资源浪费和经济损失。

环氧涂层技术是一项防腐技术,环氧涂层材料以其出色的耐腐蚀性、耐磨损性以及与金属表面的高附着力而被应用。在实际应用中,涂层材料能通过专业的涂覆设备被

均匀地涂抹在管道焊缝的缺陷处,有效地隔离了管道内部的高压和腐蚀介质,从而达到防止缺陷扩大和延长管道使用寿命的目的。

修补过程首先要对缺陷部位进行彻底的清理,确保表面无油污、锈迹或其他杂质。随后,根据缺陷的大小和形状选择合适的环氧涂层材料,并采用适当的涂覆技术进行施工。对于不同形状和大小的缺陷,可能需要采用不同的涂覆方法,如刷涂、喷涂或流挂等方式,以保证涂层的完整性和均匀性。此外,涂层的固化过程也是修补成功的关键,需要严格控制环境温度和湿度,确保涂层能够在适宜的时间内固化,并达到设计要求的性能指标。在修补完成后,还需要对涂层进行一系列的性能测试,包括附着力测试、抗腐蚀测试和耐磨性测试等,以确保修补效果满足石油化工行业严格的标准要求。通过这些测试,可以验证环氧涂层在实际应用中的可靠性和耐久性,从而保障管道系统的稳定运行和生产安全^[4]。

环氧涂层修补技术的使用,提高了管道系统维护的效率和经济性,不仅减少了停工时间,降低了维护成本,还避免了传统修复方法(如焊接、开膛等)可能带来的管道性能下降和风险增加的问题。因此,环氧涂层技术已成为当前石油化工管道焊缝缺陷修补的首选技术之一,其在未来管道维护和修复领域的应用前景广阔。

(4) 纤维增强复合材料。纤维增强复合材料在石油化工管道焊缝缺陷在线修补技术中具有重要作用。作为一种新型材料,纤维增强复合材料具有高强度、高模量、轻质等优点,使其在修补管道焊缝缺陷方面具有显著优势。通过手工或设备将纤维增强复合材料铺设到缺陷部位,可实现对缺陷的快速、高效修复。

在石油化工行业中,传统的修补方法往往需要停工、拆卸管道,耗时耗力,且修复效果不佳。而纤维增强复合材料的出现,为在线修补管道焊缝缺陷提供了新的可能。这种材料具有优良的力学性能,能够很好地承受管道内部的流体压力,确保修补后的管道安全可靠。

纤维增强复合材料的制备过程包括纤维的选择、树脂基体的配制、纤维与树脂的混合等步骤。其中,纤维的选择至关重要,需要根据管道的工作环境、压力要求等因素来确定。常见的纤维材料有碳纤维、玻璃纤维等分别具有不同的性能特点。碳纤维具有高强度、高模量、低密度等优点,但价格较高;玻璃纤维则具有较好的性价比,但强度和模量相对较低。在实际应用中,可以根据实际情况选择合适的纤维材料。树脂基体是纤维增强复合材料的另一个关键组成部分,不仅起到连接纤维的作用,还能为纤维提供保护。树脂基体应具有良好的附着力、耐腐蚀性、耐

热性等性能。常用的树脂材料有环氧树脂、聚酯树脂、酚醛树脂等也各有优缺点。在选择树脂基体时,需要综合考虑管道的使用条件,确保修补后的管道能够满足实际需求。

在实际施工过程中,纤维增强复合材料的铺设方式有两种:手工铺设和设备铺设。手工铺设适用于小面积缺陷的修复,施工速度相对较慢,但灵活性较高。设备铺设则适用于大面积缺陷的修复,施工速度快,但设备成本较高。此外,还可以采用预浸料的方式来制备纤维增强复合材料,预浸料具有良好的加工性能,便于大规模生产。将纤维增强复合材料铺设到管道焊缝缺陷部位后,需要进行固化处理。固化过程包括预热、加压、升温等步骤,目的是使树脂基体固化,形成坚硬的防护层^[5]。固化后的纤维增强复合材料具有较高的力学性能,能够有效抵御管道的内压和外部环境的影响。

总之,纤维增强复合材料在石油化工管道焊缝缺陷在线修补技术中具有重要意义。通过合理选择纤维和树脂基体、采用适当的施工方法,可以实现对管道焊缝缺陷的高效修复。这不仅提高了管道的运行安全性,还有助于降低企业的维修成本,为我国石油化工行业的发展提供了有力支持。

4 结语

石油化工管道焊缝缺陷的在线修补技术,作为一种有效的维修方法,具有明显的优势。然而,在实际应用过程中,还需要针对不同缺陷类型和条件,选择合适的修补技术,并严格控制施工质量,以确保管道系统的安全运行。通过上述缺陷焊缝修补技术的应用分析,对生产连续性要求较高的石油化工装置中、低压管道的缺陷或者腐蚀检测时发现管壁减薄处如需在线修补,有着较好的实践应用和借鉴意义。

[参考文献]

- [1]李超华,朱好林. 石油化工管道焊缝缺陷在线修补技术分析[J]. 中国设备工程,2024(7):163-165.
 - [2]任国琪,张建敏. 钢制环氧套筒修复油气长输管道缺陷相关标准对比分析[J]. 焊管,2023,46(2):54-59.
 - [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]王亚洲. 含腐蚀缺陷输油管道抗震完整性及修复措施研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2020.
 - [5]李荣光,杜娟,赵国星,等. 油气长输管道管体缺陷及修复技术概述[J]. 石油工程建设,2016,42(1):10-13.
- 作者简介:刘涛(1979.7—),毕业院校:西安石油大学,所学专业:工商管理,当前就职单位名称:长庆油田分公司第十采油厂生产保障大队。