

基于长输管道建设中焊接技术的分析

孔 军 王泽良

(中国石油化工股份有限公司西北油田分公司油气运销部, 新疆 轮台 841600)

摘 要: 本文全面分析了长输管道建设中的焊接技术, 从技术特点到改进措施, 为管道焊接领域提供了深入的见解。首先, 介绍了长输管道焊接技术的主要特点, 包括管道敷设的距离长、焊接环境较为复杂、高压值、壁厚材料厚等。随后, 概述了当前常用的手工电弧焊、半自动焊和全自动焊技术, 详细分析了各自的优缺点。紧接着, 提出了一些焊接技术的改进措施, 包括搅拌摩擦焊、管道自动焊上向焊焊接工艺以及提高设备的适应性等创新方法, 总之, 希望本次研究能够为管道焊接提供实际的技术支持。

关键词: 长输管道; 焊接技术; 手工电弧焊; 全自动焊; 半自动焊

长输管道是能源和资源传输的重要途径, 它的建设和维护对于能源以及我国的经济发展具有重要的影响, 而焊接技术作为管道建设的核心环节, 直接关系到管道的正常使用^[1]。随着技术的发展和环境条件的变化, 长输管道焊接所面临的挑战愈发复杂, 例如, 需在在复杂多变的地理环境中保持较高的焊接品质, 同时也要更好地适应高压和大直径管道的需求。因此, 研究并改进长输管道的焊接技术, 是提高建设效率和降低成本的必然途径, 对于确保能源传输的可靠性而言具有重要意义。

1 长输管道焊接技术的特点

1.1 管道敷设的距离长、焊接环境较为复杂

长输管道焊接技术是一种关键的工程技术, 主要应用于长距离输送天然气、石油及其制品等的管道建设。这种技术的显著特点之一是其应对的管道敷设距离长, 通常达到数百甚至数千公里, 这样的长距离敷设带来了一系列复杂的技术挑战, 其中, 多变的地形地貌、不同地质条件下的应力分布以及温度、湿度、风速等环境因素对焊接过程都会造成一定的影响^[2]。因此, 长输管道焊接技术必须具备高度的灵活性和适应性, 需要能够在不同的环境条件下保持焊接接头的定性。此外, 考虑到长输管道常跨越山区、河流、地震带等复杂地理区域, 因此必须确保焊缝具有足够的强度和韧性, 这样才能够抵抗由地形变化及其他外部因素引起的应力和变形。

1.2 管道的高压值和厚壁管

长输管道焊接技术的另一重要特点是高压值和厚壁管的应用, 这些管道通常设计用于承受高达数十到数百巴(bar)的内部压力, 且管壁厚度可能达到数十

毫米。例如, 一般天然气输送管道的工作压力可能在75~80 bar之间, 而一些特殊情况下的管道压力更是能够达到100 bar以上, 这样高的压力使得焊接接头必须具备极高的密封性和耐压能力, 这样才能够防止泄漏或破裂^[3]。同时, 厚壁管的焊接相比之下更加复杂, 因为它需要多层焊接来填充和连接厚壁, 因此对于焊工的技术水平具有较高的要求, 焊接设备和材料方面也必须能够适应高压和大壁厚的特殊要求。例如, 在选用焊接材料时, 需要具备优异的机械性能, 以便更好地匹配管道材料的强度和韧性。而焊接方法也需根据管道的具体参数(直径、壁厚、材质等)和工作条件(温度、压力等)进行精确地选择以及调整, 其中, 自动埋弧焊、气体保护焊等都是较为常用的一些方法。

2 当前常用的长输管道焊接技术

2.1 手工电弧焊

手工电弧焊是一种传统的焊接技术, 主要依赖于焊工的技能 and 经验来进行焊接操作。在手工电弧焊中, 需要使用电弧作为热源来对金属进行熔化, 电弧能够在焊条和工件之间产生高温电火花。手工电弧焊具有设备简单、灵活性等特点, 特别适用于一些复杂或狭窄的操作空间中, 这种方法通常需要焊工进行焊条操作, 以手动方式沿焊缝移动, 因此对焊工的技能要求相对较高。在手工电弧焊过程早, 电流的控制非常关键, 需要保持在50~300安培(A)范围内, 具体数值取决于焊接材料的类型和厚度^[4]。尽管手工电弧焊在操作上具有一定的灵活性, 但它的效率相对较低, 且焊缝水平在很大程度上取决于焊工的技术水平, 因此这一技术也就更适用于一些小型项目或特殊位置的焊接, 对于长距离管道这种大规模焊接而言并不是特别

适用。

2.2 半自动焊

半自动焊是一种相对更为先进的焊接方法，它结合了手动操作和自动化技术的优点。在半自动焊中，焊丝的送进是自动化的，但焊枪的移动仍由焊工进行手动控制。在半自动焊技术中，最典型的方法为气体金属弧焊（GMAW），也称作 MIG/MAG 焊接，这种焊接的原理主要是通过电弧在焊丝和工件之间熔化金属以及保二氧化碳或氩气等保护气体来实现对熔池的保护，避免它受到大气的污染。半自动焊的应用能够提高焊接效率，确保焊缝的一致性，尤其适用于一些长距离的管道焊接中^[5]。在半自动焊过程早，电流的控制同样很重要，一般保持在 100~400 安培之间，此外，还需要依据焊接材料的类型和厚度适当调整电压值。半自动焊相比于手工电弧焊，能够在保持一定灵活性的同时提供更高的焊接速度和品质，但仍需焊工具备一定的技能以及经验。

2.3 全自动焊

全自动焊是一种高度自动化的焊接技术，常用于大规模的工业生产，特别是一些长输管道的焊接。全自动焊的原理是使用机器设备来自动控制焊丝的送进、焊枪的移动和焊接过程中的各项参数，自动埋弧焊是最典型的一种全自动焊技术，其中，焊接需要在熔化的焊剂等覆盖物下进行的，这样做的目的是为了保护熔池不受大气影响。全自动焊的主要优点是具有较高的效率以及较高的一致性，因此焊缝水平往往也较为理想。它特别适用于那些长距离、直径大且壁厚的管道焊接，这些场景对于焊接的一致性以及焊接品质往往具有较高的要求，同时也需要确保较高的焊接效率。全自动焊中设置的电流一般需要达到 1000 安培以上，具体取决于所需的焊接速度和焊接路径^[6]。由于全自动焊具有高度的自动化程度，因此极大地减少了对焊工技能的依赖，取而代之的是需要保证机器设备的精密性，必须做好定期的维护保养

3 长输管道焊接技术改进措施

3.1 研发管道搅拌摩擦焊设备及工艺

搅拌摩擦焊（FSW）的研发和应用在长输管道焊接领域中是一项革命性的进步，尤其对于焊接高强度和高韧性材料而言更是如此。与传统的熔融焊接方法相比，FSW 作为一种固态连接技术，其原理是通过机械搅拌而非熔化材料来实现焊接，这一点在处理特殊材料上显示出了巨大的优势。例如，在高强度钢或耐腐蚀合金的焊接中，传统焊接可能会因为高温而导

致材料性能退化或产生焊接缺陷如气孔、裂纹等，而 FSW 技术使用了旋转的焊接头在接触面产生摩擦热和机械搅拌，能够使材料在固态下发生塑性变形并实现连接。这种方法产生的焊缝均匀，且无缺陷，极大地提高了焊接的品质，降低了材料退化的风险。在 FSW 的参数设置中，工具旋转速度为 1000~3000 转 /min，轴向下压力 10~30kN，焊接速度 100~400mm/min，同时需根据不同的材料和厚度要求来调整这些参数，具体的参数可参加下表 1。

表 1 管道搅拌摩擦焊工艺参数设置表

参数类别	具体数值
工具旋转速度	1000-3000 转 /min
轴向下压力	10-30kN
焊接速度	100-400mm/min
焊缝深度	依材料厚度调整
焊缝宽度	依焊缝要求调整

3.2 研发管道自动焊上向焊焊接工艺

在长输管道建设中，垂直或斜向焊缝的品质直接关系到整个管道系统的可靠性。然而，这些焊缝的焊接在操作上存在一定难度，特别是对于大口径和高壁厚的管道而言更是如此，对于这一问题，选择上向焊自动焊接工艺是一个较为理想的解决方法。这项技术能够通过先进的控制系统实现焊接过程的自动化，从而显著提高焊接效率，使所有焊缝具有较高的一致性。在这种工艺中，精确控制电流、电压和焊接速度等参数是非常关键的，通常来说，电流设定为 250~400 安培，电压在 28~32 伏特之间，焊接速度大约为 200~300mm/min，通过控制这些参数可以确保焊缝在形成过程中具有良好的均匀性和连续性，从而避免传统手工焊接中可能出现的均匀性问题或断裂问题。此技术的应用对于那些需要在复杂地形或环境中部署的长输管道项目尤为必要，在确保项目品质的情况下还可与加快工程进度，为长输管道行业带来新的发展机遇。

3.3 提高设备严酷环境下的适应性

在长输管道工程中，焊接设备必须适应极端和多变的环境条件，这对设备的设计和功能提出了高标准要求。长输管道工程经常在高温、低温、高湿度甚至海洋环境中进行，这些条件对焊接设备的性能和耐久性提出了挑战。例如，高温环境可能导致设备过热，影响其操作性能和寿命；而低温环境则可能使设备的

材料变脆,降低其可靠性。因此,焊接设备需要具备良好的环境防护性能,比如防水、防尘、耐腐蚀和能够适应广泛温度变化的能力。具体而言,设备的工作温度范围应该能够覆盖极端温度,符合 $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 这一要求,同时也能在 $5\%\sim 95\%$ 的湿度范围内正常工作。此外,为了适应复杂的地形和不稳定的工作条件,焊接设备还需具备高度的稳定性和可靠性,这就要求在设备设计时需要考虑到抵御物理冲击、振动和其他潜在的机械损害。

总之,提高设备的适应性是确保长输管道项目在各种环境下都能够顺利进行的前提,也是保障工程的进度和焊接品质的有效手段。

3.4 研发管道激光-电弧复合焊焊接设备及工艺

激光-电弧复合焊焊接技术是将激光焊接和电弧焊接两种方法的优势结合起来,创造了一种高效率的焊接方式。这种复合焊接技术通过激光提供的高能量密度热源快速加热焊接区域,同时利用电弧焊提供额外的热量和填充材料,从而实现焊缝的深渗透和高效填充。激光-电弧复合焊焊接技术的关键在于两种热源的协同作用,使得焊接过程既高效又可控。典型的焊接速度可以达到 $1\text{m}/\text{min}$,激光功率可以在 $1\sim 10\text{kW}$ 之间调节,以适应不同厚度和材质的焊接需求。这种技术特别适合用于高厚度和大直径管道的焊接,因为它不仅能提高焊接速度,而且还能确保焊缝的均匀性和深度。激光-电弧复合焊焊接技术的发展,标志着长输管道焊接技术向更高效率、更高品质的方向迈进,尤其对于长距离、大规模的管道工程而言,这种技术的应用将大大提高工程效率,降低成本,同时确保焊接品的最终效果满足严格的标准。

3.5 研发管道单熔池双丝焊设备及工艺

单熔池双丝焊技术是一种创新的高效焊接方法,旨在提升长输管道特别是大口径、高壁厚管道的焊接效率和最终焊接效果。这种技术的核心在于同时使用两根焊丝在单个熔池中进行焊接,从而实现快速的焊接速度和高效的焊缝填充。这一方法对于大规模的管道工程尤为关键,因为它能显著缩短焊接时间,提高生产效率,同时确保焊缝的均匀性和强度。在单熔池双丝焊技术中,两根焊丝的送进速度通常设置在 $4\sim 8\text{m}/\text{min}$,这一参数对于确保焊接过程的连续性和焊缝填充效率至关重要。同时,每根焊丝的电流通常控制在 $200\sim 300$ 安培之间,这有助于保持足够的热输入,确保焊接材料的良好熔化和混合。而电压的设定范围大约在 $30\sim 40$ 伏特,这是为了维持稳定的电弧并优化

熔池的形态。精确控制这些参数对于实现高品质的焊接至关重要,因为它们直接影响焊缝的形成和特性。此外,两根焊丝的位置和角度也需要精细调整,以确保焊缝的均匀性和最优的焊接效果。总体来说,单熔池双丝焊技术不仅提高了长输管道焊接的生产效率,还提升了焊缝的品质,这对于确保管道的可靠性是极其重要的。

表2 单熔池双丝焊技术的参数设置表

参数类别	设置范围	说明
送进速度	4-8m/min	确保焊接过程的连续性和焊缝填充效率
电流	200-300 安培 / 根	提供足够的热输入,保证材料良好熔化
电压	30-40 伏特	维持稳定的电弧,优化熔池形态
焊丝位置	精确调节	确保焊缝均匀性和最优焊接效果
焊接角度	根据工件调整	优化焊接效率

4 结语

综上所述,从分析技术特点到探索改进措施,本研究不仅梳理了现有技术的应用情况,还提出了搅拌摩擦焊和单熔池双丝焊等前瞻性的技术方案,这些改进措施预示着长输管道焊接技术的新发展方向,有望解决现有技术所面临的挑战。未来,随着技术的不断进步和创新,长输管道焊接技术将更加精准、高效和可靠,这对于保障我国的能源有效传输而言具有重大的意义,同时也将对工程建设领域产生更加深远的影响。

参考文献:

- [1] 董文利,浦江,刘仲民,周拴成.长输管道建设中焊接技术的研究[J].中国特种设备安全,2022,38(03):13-16.
- [2] 天工.国内天然气长输管道建设首次应用15 m加长钢管[J].天然气工业,2021,41(05):126.
- [3] 刘军.石油天然气长输管道地面建设施工技术与质量管理[J].门窗,2019(20):185.
- [4] 王伟,齐林,张仕经.清管测径技术在石油长输管道建设中的应用研究[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(15):191-192.
- [5] 蒋丹.浅析天然气长输管道建设工程的管理及安全控制[J].建材与装饰,2017(09):145-146.
- [6] 李杰图.天然气长输管道建设工程的管理探讨及安全控制分析[J].化工管理,2017(06):166.