

输油管道中油套管使用时的质量控制

孙 越 (胜利油田物资管理配送中心, 山东 东营 257000)

摘 要: 输油管道中油套管在保障油气田安全生产、提高资源开采效率方面发挥关键作用, 故做好输油管道中油套管使用时的质量控制至关重要。本文研究了输油管道中油套管的作用, 分析了输油管道中油套管使用时影响质量的主要因素, 提出输油管道中油套管使用时常见质量问题: 腐蚀问题, 应力疲劳, 磨损与划伤, 螺纹连接问题。最后提出输油管道中油套管使用时的质量控制措施: 精细管理; 采用防腐涂层、耐磨材料和耐腐蚀密封脂; 加强螺纹连接的质量控制; 定期检查与维护。通过这些综合措施, 可以有效保障输油管道中油套管在复杂井下环境中的安全稳定运行, 延长使用寿命, 降低维护成本, 提升整体作业效率。

关键词: 管道; 油套管; 使用; 质量; 控制

0 引言

有效的质量控制能延长输油管道中油套管的使用寿命, 减少更换和维护的频率, 从而降低生产成本。因此, 加强输油管道中油套管使用时的质量控制, 是保障油气田安全生产、提高经济效益的重要措施。

1 输油管道中油套管的作用

输油管道中油套管, 亦称石油输油管道中油套管, 是石油钻探过程中不可或缺的重要器材。其主要作用在于支撑油、气井井壁, 确保钻井过程的顺利进行及完井后整个油井的正常运行。具体而言, 输油管道中油套管在钻井过程中深入井孔, 通过水泥固定, 有效隔开岩层, 防止井眼坍塌, 同时保证钻探泥浆的循环流动, 以便于钻探开采。

输油管道中油套管分为多层, 如表层套管、技术套管和油层套管, 每层套管根据其特定位置和功能发挥着不同作用。表层套管作为最外层套管, 隔离上部含水层, 保护井口并加固表土层井壁; 技术套管则用于隔离和保护中间井段易塌、易漏、高压、含盐等地层^[1]; 而油层套管则作为最后一层套管, 将油气与全部地层隔绝, 保证油气压力不泄漏, 是油气到地面的通道^[2]。

2 输油管道中油套管使用时影响质量的主要因素

输油管道中油套管在石油钻探及后续油气开采过程中, 其质量直接影响到钻井的安全性、效率以及油井的整体寿命。确保输油管道中油套管的质量, 对于预防井壁坍塌、油气泄漏、套管损坏等潜在问题至关重要^[3]。

2.1 材料选择

材质成分与性。输油管道中油管套管的材质成分直接决定了其物理力学性能, 如强度、韧性、耐腐蚀性等。

常见的输油管道中油套管材料包括碳素钢、合金钢及不锈钢等。材料的选择需根据具体地质条件、油气性质及井深等因素综合考虑。例如, 在高腐蚀性的油气藏中, 需选用耐腐蚀性更强的不锈钢或特殊合金钢; 而在深井或高压环境中, 则需选择高强度、高韧性的材料以确保套管能够承受巨大的内外压力^[4]。

材质纯净度与缺陷控制。材质的纯净度也是影响输油管道中油套管质量的关键因素。杂质、气孔、裂纹等内部缺陷会显著降低套管的强度和耐久性。因此, 在材料生产过程中, 需严格控制冶炼工艺, 确保材质成分的均匀性和纯净度, 同时采用先进的检测技术对原材料进行缺陷检测, 以剔除不合格产品。

2.2 加工制造

生产工艺与设备。输油管道中油管套管的加工制造工艺直接影响其尺寸精度、表面质量和内部组织结构。先进的生产工艺和精密的加工设备能够确保套管尺寸的精确性和一致性, 同时减少加工过程中产生的应力集中和变形^[5]。例如, 采用热轧、冷拔、热处理等工艺相结合的生产流程, 能够改善套管的力学性能, 提高其抗疲劳和抗腐蚀能力。

质量检测与控制。严格的质量检测和控制是保障输油管道中油套管质量的重要手段。在生产过程中, 需对各个环节进行严格的质量监控, 包括原材料检验、加工过程监控、成品检验等。通过采用先进的检测技术和设备, 如超声波探伤、磁粉探伤、水压试验等, 对套管进行全面的质量检测, 确保套管在出厂前符合相关标准和规范要求。

2.3 安装施工

施工技术与规范。输油管道中油管套管的安装施工是确保其质量的重要环节。施工过程中需遵循严格的

施工技术和规范,包括套管下放速度的控制、扶正器的使用、水泥浆的配比与灌注等。不合理的施工技术或违反规范的操作都可能导致套管损坏或密封不良等问题。因此,施工人员需具备丰富的经验和技能,同时加强现场管理和监督,确保施工过程的规范性和安全性。

井况条件与应对措施。井况条件是影响输油管道中油套管安装质量的重要因素之一。不同的地质条件、井深、井温等因素都会对套管的安装和使用产生影响。例如,在复杂地质条件下,如断层、裂缝发育区域,需采取特殊的套管设计和安装措施以增强套管的稳定性和密封性。同时,还需考虑井温对套管材料性能的影响,采取适当的热处理或选用耐高温材料以应对高温环境。

2.4 环境因素

腐蚀与磨损。油气田中的腐蚀介质和颗粒物会对输油管道中油套管产生腐蚀和磨损作用,从而降低套管的使用寿命和性能。腐蚀主要包括化学腐蚀、电化学腐蚀和应力腐蚀等类型。为减缓腐蚀速度,需根据油气藏的具体条件选择合适的防腐措施,如涂层保护、阴极保护等。此外,还需定期检测套管的腐蚀情况,及时采取修复或更换措施。

温度与压力。油气井中的温度和压力条件也是影响输油管道中油套管质量的重要因素。高温环境会加速材料的氧化和老化过程,降低套管的强度和韧性;而高压环境则会对套管产生巨大的内外压力差,可能导致套管变形或破裂。因此,在设计和选用套管时,需充分考虑井下的温度和压力条件,选用具有足够强度和耐高温、耐高压性能的材料。

3 输油管道中油套管使用时常见质量问题

3.1 腐蚀问题

输油管道中油套管在恶劣的井下环境中,特别是当遇到高温(超过 150°C)、高压(可达 100MPa)以及富含腐蚀性介质(如硫化氢含量超过 50ppm ,氯化物浓度高于临界值)时,其腐蚀问题尤为突出。据行业统计数据显示,因腐蚀导致的输油管道中油套管失效案例占到了总失效比例的 $30\%\sim 40\%$ ^[6],成为输油管道中油套管使用过程中的首要质量问题。腐蚀不仅会使管道表面迅速生锈,形成不均匀的腐蚀层,增加流体流动的阻力,更重要的是,它会导致管道壁厚逐渐减薄,甚至出现局部穿孔,严重削弱管道的承压能力和密封性。长期以往,这种渐进式的破坏将大大降低

管道的使用寿命,增加维护成本,甚至在某些极端情况下,可能因突然失效而引发油气泄漏,造成环境污染和安全事故。此外,油气中的腐蚀性介质种类繁多,不同介质对管道材料的腐蚀机理也不尽相同,这使得腐蚀问题更加复杂多变。

3.2 应力疲劳

输油管道中油套管在复杂的井下作业环境中,长期承受着来自流体压力、温度变化、地质运动等多种外部载荷的作用,极易引发应力疲劳现象。据研究表明,约有 $20\%\sim 30\%$ 的输油管道中油套管失效案例与应力疲劳直接相关。应力疲劳是一个渐进的过程,它始于管道材料内部的微观裂纹,这些裂纹在交变应力的作用下逐渐扩展,最终演变成宏观裂纹,导致管道突然断裂。特别是在存在振动和冲击载荷的工况下,如钻井过程中的振动、油井开采时的流体脉冲等,应力疲劳问题尤为严重。这些动态载荷会加速裂纹的扩展速度,缩短管道的疲劳寿命。此外,不合理的结构设计,如过渡区圆角过小、截面突变等,以及材料选择不当,如材料的抗疲劳性能不符合要求,都会加剧应力疲劳现象的发生。同时,加工制造过程中的缺陷,如焊接裂纹、表面划痕等,也会成为应力集中的源头,进一步促进疲劳裂纹的萌生和扩展。

3.3 磨损与划伤

输油管道中油套管在其生命周期中,从运输到安装再到实际使用,各个环节均可能遭受不同程度的磨损与划伤。据行业统计,约有 $15\%\sim 25\%$ 的输油管道中油套管性能下降案例可归因于此类表面损伤。这些损伤虽然初时看似轻微,却对管道的长期稳定运行构成了潜在威胁。运输过程中,由于装卸操作不当或运输工具的颠簸,输油管道中油套管易与硬物发生碰撞,造成表面划痕和局部凹陷。安装阶段,若缺乏必要的防护措施或操作不规范,机械工具与管道的直接接触也可能导致严重的划伤和磨损。而在使用过程中,输油管道中油套管随井深增加而承受的径向和轴向力增加,与井壁、岩石或其他井下设备的频繁摩擦更是加剧了表面的磨损程度。在极端情况下,这些损伤可能成为裂纹萌生的起点,最终导致管道的失效。因此,对于输油管道中油套管的磨损与划伤问题,应予以高度重视,并在各个环节中采取有效措施加以防范。

3.4 螺纹连接问题

输油管道中油套管系统中,螺纹连接作为关键连接点,其质量直接关系到整个系统的密封性和稳定性。

螺纹加工精度是影响连接质量的关键因素。若加工过程中存在误差,如螺距不一致、牙型角偏差等,将直接导致密封性能下降,甚至无法形成有效密封。其次,密封脂的涂抹也是不可忽视的一环。涂抹不均匀或过量/不足,均会影响密封效果,增加泄漏风险。再者,安装时扭矩的控制至关重要。扭矩过大可能导致螺纹损坏,过小则无法确保连接的紧固性,两者均会削弱连接的可靠性。此外,井下的恶劣环境对螺纹连接部位构成了严峻挑战。泥浆、腐蚀性介质等不仅可能侵蚀螺纹表面,破坏防腐层,还可能渗入连接间隙,进一步加剧密封失效的风险。

4 输油管道中油套管使用时的质量控制措施

4.1 针对腐蚀问题的质量控制措施

首先,需根据具体工况选择合适的耐腐蚀材料,如采用不锈钢、合金钢等高性能材料,以提高管道的抗腐蚀能力。其次,加强防腐涂层的应用和维护,确保涂层完整无损,有效隔绝腐蚀性介质与管道的直接接触。同时,实施阴极保护系统,定期检测并调整保护电位,防止电化学腐蚀的发生。

此外,针对油气中特定腐蚀性介质,可注入缓蚀剂,中和或减缓腐蚀作用。在设计和制造阶段,应优化管道结构设计,减少应力集中区域,提高整体耐腐蚀性能。最后,加强腐蚀监测与检测,采用超声波、电化学测试等方法,及时发现并处理腐蚀隐患,避免事故发生。

4.2 针对应力疲劳问题的质量控制措施

针对输油管道中油套管应力疲劳问题,需要优化管道结构设计,确保过渡区圆角合理、截面变化平缓,减少应力集中点。其次,严格选材,采用具有优异抗疲劳性能的材料,如高强度低合金钢,以增强管道的抗疲劳能力。同时,加强加工制造过程中的质量控制,避免焊接裂纹、表面划痕等缺陷的产生,减少应力集中源。

针对振动和冲击载荷,可采用减振器、缓冲装置等措施,降低动态载荷对管道的影响。最后,实施定期的应力疲劳检测与评估,利用无损检测技术监测裂纹扩展情况,及时采取措施防止疲劳断裂的发生。

4.3 针对磨损与划伤问题的质量控制措施

在运输过程中,采用专用运输架和缓冲材料,减少装卸过程中的碰撞与颠簸,保护管道表面免受损伤。安装阶段应制定严格的操作规程,确保使用合适的工具和防护措施,避免机械工具与管道直接接触造成划

伤。同时,加强现场监督,确保操作人员遵循规范作业。在使用过程中,可采用耐磨涂层或加装防护套等措施,减轻与井壁、岩石等硬物的摩擦,降低磨损程度。此外,定期检查管道表面状况,及时发现并处理磨损与划伤问题,防止损伤累积导致严重后果。

4.4 针对螺纹连接问题的质量控制措施

针对输油管道中油套管螺纹连接问题,要加强螺纹加工质量控制,确保螺距、牙型角等关键参数精确无误,采用高精度加工设备,提升螺纹加工精度。其次,优化密封脂涂抹工艺,制定标准化操作流程,确保涂抹均匀适量,有效填充螺纹间隙,提升密封性能。同时,开发或使用耐腐蚀性更强的密封材料,以应对井下恶劣环境。在安装环节,采用扭矩控制工具,严格按照标准扭矩值进行紧固,避免过紧或过松导致的螺纹损坏和连接失效。最后,定期检查螺纹连接部位,发现并处理腐蚀、松动等问题,定期更换老化或损坏的密封件,确保螺纹连接的长期可靠性。

5 结论

综上所述,输油管道中油套管使用中的质量受多种因素影响,包括应力疲劳、磨损划伤、螺纹连接问题及井下恶劣环境等,这些均可能引发泄漏、断裂等安全隐患。为确保输油管道中油套管质量,需采取严格的质量控制措施,定期检查与维护,及时发现并处理潜在问题。通过这些综合措施,可以有效保障输油管道中油套管在复杂井下环境中的安全稳定运行,延长使用寿命,降低维护成本,提升作业效率。

参考文献:

- [1] 葛柱立,王鸿儒.低温下己内酰胺低聚物合成[J].陕西科技大学学报,2007,25(02):20-23.
- [2] 易春旺.己内酰胺环状二聚物研究进展[J].合成纤维工业,2019,42(02):62-66.
- [3] 谢崇禹.影响己内酰胺质量的主要因素[J].纤维合成材料,2006,33(02):33-34.
- [4] 张汇.低成本绿色己内酰胺聚合工艺研究[D].湖南大学,2002.
- [5] 王志侃.国产化20000吨年二步法己内酰胺聚合技术应用[D].天津大学,2001.
- [6] 何登平.南化东方公司己内酰胺装置的改造与运行优化[D].东南大学,2005.

作者简介:

孙越(1989-),女,汉,山东莱阳,本科,中级工程师,研究方向:金属材料及热处理。