

顶管技术在油气长输管道非开挖修复中的应用分析

杨立华

中石化中原建设工程有限公司 河南 濮阳 457001

摘要：本文深入分析了顶管技术在油气长输管道非开挖修复中的应用，阐述了其在减少环境破坏、缩短施工周期、降低成本等方面的显著优势。通过探讨顶管技术的关键流程、材料与设备选择、安全与质量控制，并展望了未来发展趋势，包括新材料与设备的应用、智能化自动化技术的融合以及绿色环保和可持续发展的方向。通过全面分析，为油气长输管道非开挖修复提供重要的技术参考和实践指导。

关键词：顶管技术；油气长输管道；非开挖修复；应用分析

1 顶管技术在油气长输管道修复中的作用

顶管技术在油气长输管道修复中发挥着至关重要的作用。面对油气长输管道因老化、腐蚀、地质变动等因素导致的泄漏、破损等问题，传统的开挖修复方法不仅施工周期长、成本高，还会对周围环境造成较大影响，甚至中断油气供应，影响社会经济的正常运行。而顶管技术作为一种先进的非开挖修复手段，以其独特的优势在油气长输管道修复中崭露头角。顶管技术通过在工作井内安装顶管机，利用液压或机械动力推动管道或套管穿越地层，实现管道的修复或更换，而无需对地面进行大规模开挖。这种技术不仅能够有效避免对地面交通、建筑物及环境的破坏，还能显著缩短施工周期，降低施工成本。在油气长输管道修复中，顶管技术能够精准定位破损位置，通过顶进新管道或套管的方式对原管道进行修复，同时保证修复后的管道具有良好的密封性和稳定性，确保油气运输的安全和顺畅。

另外，顶管技术还具备较高的灵活性和适应性，能够应对各种复杂的地质条件和管道状况。在修复过程中，顶管机可以根据实际情况调整顶进速度和方向，确保管道按照预定路线准确穿越地层^[1]。同时，通过注浆减阻、泥浆润滑等技术手段，可以有效降低顶进阻力，提高施工效率和质量。

2 油气长输管道非开挖修复的现状

油气长输管道非开挖修复技术近年来在全球范围内得到快速发展，并逐渐成为管道维护领域的重要趋势。在非开挖修复技术的推动下，油气长输管道的维护和管理模式正在发生深刻变革。通过采用各种先进的非开挖技术手段，如顶管技术、水平定向钻井、管道内衬修复等，可以实现对老旧、破损管道的精准定位和有效修复，而无需进行大规模的地面开挖。这不仅减少对周围环境的破坏，降低施工噪音和尘土污染，还显著缩短修

复周期，减少对油气供应的中断，保障了能源的稳定供应。目前，油气长输管道非开挖修复技术在国内外均得到了广泛应用。从材料选择到工艺优化，从设备更新到技术创新，各个环节都在不断进步和完善^[2]。特别是在一些地质条件复杂、环境敏感的区域，非开挖修复技术更是展现出其独特的优势；随着智能化、信息化技术的不断发展，非开挖修复技术也正在向更加智能、高效、精准的方向迈进，为油气长输管道的安全运行和可持续发展提供有力保障。

3 顶管技术在非开挖修复中的适用范围和限制条件

顶管技术在非开挖修复中展现出广泛的应用范围，特别适用于那些需要最小化对地面交通、环境及居民生活干扰的油气长输管道修复项目。该技术能够有效处理直径范围广泛（通常可达数米）的管道，并且可以在多种地质条件下进行作业，包括但不限于沙土、粘土、软岩等；顶管技术还适用于修复穿越河流、铁路、公路、建筑密集区等复杂地段的管道，这些区域传统开挖修复方法难以实施或成本高昂。当然，顶管技术在非开挖修复中的应用也面临一定的限制条件。首先，地质条件的复杂性是主要的限制因素之一。在坚硬岩石层、卵石层或地下水丰富的区域，顶管施工难度显著增加，需要采取特殊的施工措施和设备，如采用高压水力破碎技术或增设注浆减阻系统等，这无疑增加了施工成本和风险。据相关数据统计，在复杂地质条件下，顶管施工的成功率可能会降低约20%-30%，且施工周期也会相应延长；管道的类型、材质和破损程度也限制顶管技术的应用。对于超大口径或超长距离的管道，顶管施工可能需要更多的资源和时间，且技术难度更高；如果管道材质特殊或破损严重，可能需要结合其他修复技术进行综合处理^[3]。另外，施工现场的条件也是影响顶管技术应用的重要因素；顶管施工需要足够的空间来布置工作井和接收井，并且需要确

保施工现场的通风、照明等条件满足施工要求。

4 顶管技术在油气长输管道非开挖修复中的关键技术

4.1 顶管修复工艺流程

顶管技术在油气长输管道非开挖修复中的关键技术主要体现在精确的导向控制、高效的顶进系统、以及严密的管道接口处理等方面。顶管修复工艺流程通常包括以下几个关键步骤：（1）前期准备与勘察设计：顶管修复工程的起点在于全面而细致的准备工作。此阶段，通过先进的管道检测技术，精确识别并评估管道的破损状况，明确修复的具体位置与范围。基于详尽的地质勘察数据，精心设计工作井与接收井的位置，确保它们能有效服务于后续的顶管作业，并最小化对周边环境的影响。开挖与支护工作紧随其后，构建稳固的作业平台，为后续工艺的安全实施奠定基础；（2）顶管机的安装与启动：在前期准备和勘察设计工作完成后，进入顶管修复工艺的核心阶段——顶管机的安装与启动。首先，根据设计要求，在起始工作井内精确安装顶管机及其配套设备，包括千斤顶、推进装置、主顶油缸等。安装过程中需确保设备稳固，连接紧密，以承受后续顶进过程中的巨大推力。随后，进行顶管机的调试与启动，通过液压系统逐步施加推力，使顶管机及其后方的套管沿着预设路径缓缓向前推进。此阶段需密切关注顶进参数，如推力、速度、套管姿态等，确保顶进过程平稳可控。

（3）套管顶进与管道更换或修复：随着顶管机的启动与推进，套管在强大推力的作用下逐步深入土层，直至达到预定的修复位置。在套管顶进过程中，需采用适当的泥浆循环系统或润滑剂来减少摩擦阻力，保护土层并避免套管与周围土体的直接摩擦损坏；当套管顶进到预定位置后，根据修复需求，进行管道的更换或修复工作。若需更换管道，可将旧管道切断并移除，随后在套管内安装新管道；若采用修复技术，则可能涉及在套管内对旧管道进行内衬、固化或修补等作业。（4）注浆加固与孔壁保护：在顶进过程中，为确保孔壁的稳定性并减少摩擦阻力，注浆作业至关重要。根据地质勘察结果和孔壁条件，选择适合的注浆材料，并利用注浆设备对孔壁进行加固处理。注浆材料应具备良好的流动性和渗透性，能够迅速填充孔壁缝隙并形成稳定的保护层。注浆作业需严格控制注浆压力与流量，确保注浆材料均匀分布并达到预期的加固效果；注浆作业还能有效防止地下水渗入孔道，保障顶管作业的安全进行。（5）管道接口处理：新管道或修复套管到达接收井后，需进行严密的接口处理。这包括接口焊接、防腐涂层施工等，以确保管道连接处具有良好的密封性、耐久性和防腐性能。

（6）后期检测与验收：修复完成后，进行全面的管道检测与验收工作。包括检查管道外观、测量壁厚、进行压力测试等，以确保修复质量符合标准要求。通过上述关键技术和严谨的工艺流程，顶管技术能够实现油气长输管道的非开挖修复，有效避免传统开挖修复带来的环境破坏、交通中断等问题，为油气管道的维护管理提供更加高效、环保的解决方案。

4.2 材料与设备选择

4.2.1 高效顶进系统

选择高功率、高稳定性的顶进机械，如液压顶管机或电动顶管机，确保管道在顶进过程中能够顺利穿越地层。顶进系统需配备足够的推力和调节能力，以适应不同地质条件和管道长度的需求。据行业统计，高效顶进系统能够显著提高施工速度，减少工程周期约20%-30%。

4.2.2 管道与修复材料

在材料选择上，优先考虑高强度、耐腐蚀、耐磨损的管道材料，如钢管、PE管等。对于修复材料，则根据破损情况选择合适的内衬、涂层或套管。例如，在管道内部出现腐蚀或穿孔时，可选用聚氨酯泡沫或环氧树脂等填充材料进行修复。同时，确保所选材料具有良好的密封性和耐久性，以满足油气长输管道的高要求。

4.2.3 注浆材料

注浆材料在顶管施工中起到润滑孔道、支撑孔壁的关键作用。根据地质条件和施工需求，选择合适的注浆材料如水泥浆、膨润土浆或化学注浆材料等。注浆工艺需精确控制注浆压力、流量和时间等参数，以确保注浆效果达到最佳。据统计，合理的注浆工艺能够显著降低顶进阻力，提高施工效率约15%-25%。

4.2.4 监测与检测设备

在顶管施工过程中，采用先进的监测与检测设备对施工进度、管道状态进行实时监测。包括地质雷达、声呐探测仪、管道内窥检测系统等，这些设备能够提供高精度的地下数据和管道内部图像，为施工人员提供可靠的决策依据。通过这些措施的综合运用，能够有效提高修复质量、降低施工成本并减少对周围环境的影响。

4.3 安全与质量控制

顶管技术在油气长输管道非开挖修复中的关键技术不仅聚焦于高效施工与精确导向，更将安全与质量控制置于首要位置。施工前，需进行详尽的地质勘探与环境评估，以识别潜在的地下障碍物、地下水文条件等风险因素，并制定相应的安全预案。施工过程中，实时监测地下数据变化，及时调整施工参数，防止地层坍塌、

地下水涌入等安全事故的发生；加强施工现场的安全管理，设置明显的安全警示标识，确保施工人员严格遵守安全规程，穿戴好个人防护装备。在质量控制方面，顶管技术注重精细化施工与严格检测；明确修复目标与要求，制定详细的施工方案与作业指导书^[4]。施工过程中，采用高精度测量仪器与设备，对导向孔施工、管道顶进、注浆作业等关键环节进行精确控制，确保施工精度与质量。修复完成后，进行全面的质量检测与验收，包括管道外观检查、壁厚测量、压力试验等，确保修复段管道达到设计要求并满足长期安全运行的标准。为了进一步提升安全与质量控制水平，顶管技术还融合了智能化、信息化等现代科技手段。例如，运用无人机进行施工现场的远程监控，利用大数据分析技术优化施工方案与材料选择，通过智能化监测系统实时监控管道运行状态等。

5 未来顶管技术在油气长输管道非开挖修复中的发展趋势

5.1 新材料与设备的应用

未来，顶管技术在油气长输管道非开挖修复领域将更加注重新材料与新设备的研发与应用。首先，新型高强度、耐腐蚀、耐磨损的管道材料将成为主流，如复合材料、高性能合金等，这些材料不仅能够有效提升管道的耐久性和使用寿命，还能减轻管道重量，降低施工难度；随着科技的进步，新型注浆材料、防腐涂层等也将不断涌现，为修复工作提供更多选择。智能化、自动化的顶进机械将成为发展方向。这些设备将具备更高的精度、更强的稳定性和更广泛的适应性，能够应对各种复杂的地质条件和施工环境。

5.2 智能化、自动化技术的发展

随着人工智能、物联网、大数据等技术的快速发展，顶管施工将逐渐向智能化、自动化转型。具体而言，未来顶管技术将引入更多的传感器和监测设备，实时收集地下数据和管道状态信息，并通过智能算法进行分析处理，为施工提供精准的指导；自动化控制系统的应用将实现施工参数的自动调节和优化，提高施工效率和质量；通过建立施工信息管理平台，实现施工数据的

实时上传、分析和共享，为管理人员提供决策支持，提高管理效率^[5]。同时，结合虚拟现实、增强现实等技术，施工人员可以在施工前进行模拟演练，减少实际操作中的风险和失误。

5.3 绿色环保和可持续发展趋势

绿色环保和可持续发展是未来顶管技术发展的必然趋势。在油气长输管道非开挖修复过程中，传统方法可能会对周围环境造成一定的破坏和污染。因此，未来顶管技术将更加注重环保和可持续发展理念的应用。一方面，顶管施工将采用更加环保的材料和工艺。例如，使用可降解或低污染的注浆材料、减少施工过程中的废水排放和噪音污染等。另一方面，顶管施工将更加注重生态修复和环境保护。在施工完成后，及时对周边环境进行恢复和治理，确保生态环境得到有效保护。未来顶管技术还将积极探索循环经济和再生资源利用的新途径。例如，通过对废旧管道进行回收再利用、开发新型再生材料等方式，降低施工成本并减少资源消耗。

结束语

综上所述，顶管技术在油气长输管道非开挖修复中展现出巨大的应用潜力和价值。随着技术的不断进步和创新，顶管技术将在提高修复效率、保障施工安全、促进绿色环保等方面发挥更加重要的作用。未来，应继续加强技术研发与应用推广，推动顶管技术在油气管道修复领域的广泛应用，为能源行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]叶隆长.油气长输管道顶管穿越施工技术[J].建材世界,2020,41(06):69-72.
- [2]王杉.天然气长输管道河流穿越设计要点分析[J].化学工程与装备,2020(07):41-42.
- [3]殷峰炎,定向钻穿越施工的特点及应用效果分析[J].科学管理,2022(2):223-224.
- [4]詹泽丞,杨梦颖等,浅谈天然气管道河流水平定向钻穿越施工技术[J].建筑工程,2022:98-103
- [5]钱彬.长输管道顶管穿越施工技术研究与应用[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(15):209-210.