

# 油气长输管道顶管穿越施工技术探究

袁 勇

中石化石油工程设计有限公司 山东 东营 257000

**摘 要：**油气长输管道顶管穿越技术是解决管道与公路、铁路、河流等障碍物交叉施工难题的核心手段。该技术通过非开挖方式实现管道穿越，具有施工周期短、环境影响小、安全性高等优势，广泛应用于我国油气管道工程。本文系统梳理顶管穿越施工的关键技术环节，包括地质勘察、设备选型、顶进控制、注浆减阻及施工监测等，并探讨智能化、绿色化、长距离大口径化及综合技术集成化等未来发展趋势，为提升油气管道建设质量与效率提供理论支撑。

**关键词：**油气长输管道；顶管穿越；技术优化；发展趋势

引言：随着我国油气资源需求持续增长，长输管道建设规模不断扩大，穿越复杂地形与既有设施的施工需求日益凸显。传统开挖施工方式易引发交通中断、生态破坏及安全隐患等问题，而顶管穿越技术凭借其非开挖、高效、环保等特性，成为解决此类难题的首选方案。该技术通过顶进设备将套管从工作井推入地层，穿越障碍物后抵达接收井，实现管道敷设，尤其适用于短距离、高精度穿越场景。然而，顶管施工涉及地质条件复杂、设备选型多样、轴线控制精度要求高等挑战，需通过系统化技术优化保障施工质量。

## 1 油气长输管道顶管穿越施工技术概述

油气长输管道顶管穿越施工技术，是针对管道与公路、铁路、河流等障碍物交叉施工难题而发展出的关键技术。该技术通过非开挖方式，借助主顶油缸推力，将工具管或顶管掘进机从工作坑内穿过土层顶进接收坑内，实现套管埋设，随后将主管道穿越套管完成敷设。其核心优势显著。施工周期短，机械化程度高，可大幅缩短建设时间，提升工程效率；不受季节影响，能全年施工，保障工程进度；安全性好，施工过程对周边环境影响小，减少对交通、生态的干扰，降低安全风险。不过，该技术也存在一定局限，如施工投资较高，长距离穿越时方向控制难度大，对地质条件要求较高等。在实际工程应用中，顶管穿越技术广泛适用于油气长输管道穿越河流、公路、铁路等场景。顶管穿越技术不断优化，与智能化、绿色化等理念深度融合，为油气长输管道建设提供更高效、安全、环保的解决方案<sup>[1]</sup>。

## 2 油气长输管道顶管穿越施工的关键技术

### 2.1 地质勘察与施工方案设计

地质勘察是油气长输管道顶管穿越施工的基础支撑，其精准度直接影响施工的安全与质量。需运用多种先进技术开展全面勘察，通过地质钻探获取不同深度处

的岩土样本，详细分析其物理性质，如颗粒级配、密实度、含水量等，以及力学性能，像抗压强度、抗剪强度等指标，精准绘制地层剖面图，明确各土层的分布范围与变化规律。同时，借助地球物理勘探手段，探测地下是否存在溶洞、断层、软弱夹层等不良地质构造，评估其对顶管施工的潜在风险，如可能引发的塌方、管涌等问题。施工方案设计要紧密围绕地质勘察结果展开。依据地质条件合理规划顶进路线，优先选择地质稳定、土层均匀的区域，降低施工难度与风险。精确确定工作坑和接收坑的位置、尺寸与结构形式，确保其具备足够的承载能力与稳定性。科学计算顶进过程中的各项参数，如顶力、扭矩、顶进速度等，选择适配的顶管设备与施工工艺。此外，还需制定完善的应急预案，针对可能出现的地质灾害、设备故障等突发情况，提前规划应对措施，保障施工过程安全有序，为油气长输管道顶管穿越工程的顺利实施提供坚实保障。

### 2.2 顶管设备选型与安装调试

顶管设备的选型是油气长输管道顶管穿越施工的关键，需综合考量地质条件、管道规格、顶进距离等因素。主顶油缸是提供顶进动力的核心设备，其推力大小要能满足克服土层阻力和管道摩擦力的需求，同时要结合顶进距离确定合适的行程，确保施工连续性。顶管掘进机需根据土质情况选择，在软土层中，可采用泥水平衡式或土压平衡式掘进机，能有效控制地面沉降；在岩石地层，则要选用具备破碎功能的岩石掘进机。中继环适用于长距离顶进，可分段接力顶进，降低单段顶进压力。设备安装调试至关重要。主顶油缸安装要保证其轴线与管道轴线一致，避免偏心受力影响顶进精度。顶管掘进机安装后需进行全面检查，确保刀盘旋转、泥浆循环等系统正常运行。中继环安装要保证各环之间的连接紧密、密封良好，防止泥浆泄漏。调试阶段，先进行空

载试运行,检查设备各部件的运转情况,如电机转速、液压系统压力等是否稳定;再进行负载试运行,模拟实际顶进工况,调整设备参数,使顶进速度、顶力等达到最佳状态,为正式施工做好充分准备。

### 2.3 顶进施工与轴线控制

顶进施工是油气长输管道顶管穿越的核心环节,其过程需严格把控,以确保管道按预定路线准确穿越。顶进开始时,要缓慢启动顶管设备,使掘进机平稳切入土层,避免因启动过猛造成设备损坏或轴线偏移。在顶进过程中,需根据地质条件实时调整顶进参数,如在软土层中,顶进速度可适当加快,但要注意控制泥浆压力,防止地面塌陷;在硬土层或岩石层中,则要降低顶进速度,增大顶力,确保掘进机顺利前进。轴线控制是顶进施工的关键。要建立精确的测量系统,在顶管机头和管道内设置多个测量点,采用激光导向仪、全站仪等先进测量设备,实时监测管道的轴线位置和偏差情况。一旦发现轴线偏移,需立即分析原因并采取纠偏措施。轻微的偏移可通过调整掘进机的刀盘转向、顶进速度或施加不对称顶力等方式进行纠正;对于较大的偏移,则要停止顶进,采用千斤顶等工具进行强制纠偏。同时,要加强对施工人员的培训和管理,提高其操作技能和轴线控制意识,确保顶进施工的轴线精度符合设计要求,保障油气长输管道顶管穿越工程的质量和安<sup>[2]</sup>。

### 2.4 注浆减阻与管周填充

在油气长输管道顶管穿越施工中,注浆减阻与管周填充是保障施工顺利推进与管道长期稳定运行的关键技术环节。注浆减阻旨在降低顶进过程中的摩擦力。顶进时,管道与周围土体直接接触,会产生较大摩擦阻力,影响顶进效率甚至导致施工停滞。通过向管周注入合适的浆液,能在管道外壁形成一层润滑膜,有效减少摩擦。浆液的选择至关重要,需根据地质条件确定,如在砂层中,可选用触变泥浆,其具有良好的流动性和稳定性,能快速填充管周空隙并形成润滑层;在黏土层中,则可采用化学浆液,其固化后强度较高,既能减阻又能起到一定的加固作用。注浆过程中,要严格控制注浆压力和注浆量,确保浆液均匀分布,避免出现局部堆积或缺失。管周填充则是在顶管完成后,对管周空隙进行填充,以增强管道的稳定性。填充材料一般选用水泥砂浆或细石混凝土,它们具有强度高、耐久性好的特点。填充时要保证材料密实,防止出现空洞,可采用分层振捣的方式,使填充材料与管道和周围土体紧密结合,形成一个整体,有效抵抗外界荷载和地质变化对管道的影响,延长管道使用寿命,同时,有效的减小地层沉降,

保证地面设施安全。

### 2.5 施工监测与安全保障

在油气长输管道顶管穿越施工中,施工监测与安全保障是确保工程顺利推进、人员设备安全以及管道后期稳定运行的关键。施工监测涵盖多个方面。对顶管机头及管道的轴线位置、高程进行实时监测,利用高精度测量仪器,如激光经纬仪、全站仪等,及时掌握其偏差情况,一旦发现轴线偏离设计路线,立即调整顶进参数进行纠偏。对周边土体变形进行监测,在关键位置布置沉降观测点,通过水准仪等设备定期测量,防止因顶进施工引发地面过度沉降,影响周边建筑物和地下管线安全。同时,监测地下水位变化,避免因水位异常影响施工安全和土体稳定性。安全保障措施需全面且细致。施工前对所有作业人员进行安全培训,提高其安全意识和操作技能。现场设置明显的安全警示标志,配备齐全的安全防护用品,如安全帽、安全带等。顶进过程中,加强设备维护保养,定期检查顶管设备、电气设备等,确保其运行正常。制定完善的应急预案,针对可能出现的坍塌、触电、机械伤害等事故,明确应急处置流程和责任分工,定期组织演练,提高应对突发事件的能力,全方位保障施工安全。

## 3 油气长输管道顶管穿越施工技术的发展趋势

### 3.1 智能化施工技术的应用

智能化施工技术在油气长输管道顶管穿越领域的应用正不断深化。借助传感器、物联网与大数据技术,施工过程中的各类参数,如顶力、顶进速度、轴线偏差、泥浆压力等,可实现实时采集与传输。通过智能分析系统,这些数据能被快速处理,为施工人员提供精准的决策依据。例如,系统可根据实时监测到的地质变化,自动调整顶进参数,确保施工的稳定性和安全性。同时,智能化施工还体现在设备自动化控制方面,顶管机、泥浆泵等关键设备可实现远程操控与自主运行,减少人工操作误差,提高施工效率。此外,虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术也逐步应用于施工培训与现场指导,使施工人员能更直观地理解施工流程与操作要点,提升整体施工水平。未来,随着人工智能技术的进一步发展,智能化施工将实现更高级的自主决策与自适应调整,推动顶管穿越施工向更高精度、更高效的方向迈进<sup>[3]</sup>。

### 3.2 绿色施工技术的推广

绿色施工技术在油气长输管道顶管穿越工程中的推广,是行业响应可持续发展号召的重要体现。在材料选择上,优先采用环保型、可降解的施工材料,如生物基触变泥浆,其不仅具有良好的减阻性能,还能在施工完成后自

然降解,减少对土壤和水体的污染。同时,优化施工工艺以降低能耗与排放,例如采用节能型顶管设备,通过改进动力系统与传动装置,提高能源利用效率,减少施工过程中的碳排放。在泥浆处理方面,引入先进的泥水分离与循环利用技术,将处理后的泥浆重新用于施工,降低水资源消耗与泥浆排放量。此外,注重施工场地的生态保护,通过合理规划施工区域、设置生态隔离带等措施,减少对周边生态环境的破坏。绿色施工技术的推广,不仅有助于降低施工对环境的影响,还能提升企业的社会形象,推动行业向绿色、低碳方向发展。

### 3.3 长距离、大口径顶管施工技术的发展

长距离、大口径顶管施工技术是油气长输管道建设中的重要发展方向。随着能源需求的增长与管道输送能力的提升,对顶管施工的距离与管径提出了更高要求。在长距离顶管施工方面,关键技术包括中继间接力顶进、泥浆减阻与管周加固等。中继间接力顶进技术通过在管道中间设置多个中继环,将总顶力分散至多个区间,实现长距离顶进;泥浆减阻技术则通过优化泥浆配比与灌注方式,在管周形成稳定的泥膜,降低摩擦阻力;管周加固技术则通过注浆、设置支护结构等方式,增强管道周围的土体稳定性,防止塌方等事故发生。在大口径顶管施工方面,需研发适应大管径的顶管机与配套设备,优化掘进与出土工艺,确保施工的顺利进行。未来,随着材料科学与动力技术的进步,长距离、大口径顶管施工将向更高效、更安全的方向发展,满足大规模油气输送的需求。

### 3.4 综合技术集成化发展

综合技术集成化是油气长输管道顶管穿越施工技术发展的必然趋势。通过将智能化、绿色化、长距离大口径化等多种技术进行有机融合,形成一套完整的、适

应不同工况的施工解决方案。在综合技术体系中,智能化技术提供数据支持与决策依据,绿色化技术降低施工对环境的影响,长距离大口径化技术满足大规模输送需求。例如,在复杂地质条件下,综合运用地质勘探技术、智能化监测技术与长距离顶进技术,实现精准施工与安全控制;在环保要求高的区域,结合绿色施工技术与智能化管理系统,实现施工过程的低碳化与资源的高效利用。此外,综合技术集成化还体现在施工管理的信息化与协同化方面,通过建立统一的施工管理平台,实现设计、施工、监理等各方的信息共享与协同作业,提高施工效率与质量<sup>[4]</sup>。

### 结束语

油气长输管道顶管穿越施工技术作为保障能源输送安全、适应复杂地质环境的关键手段,在不断探索与创新中取得显著进展。从智能化施工对效率与精度的提升,到绿色施工对生态保护的践行;从长距离大口径技术突破输送瓶颈,到综合技术集成化应对多元挑战,每一项进步都凝聚着行业的智慧与努力。未来,随着科技持续赋能与工程经验积累,顶管穿越施工技术将更加成熟完善,以更高效、更环保、更可靠的方式,为油气长输管道建设提供坚实支撑,助力能源行业高质量发展。

### 参考文献

- [1]董光泉,董嘉琪.长输管道EPC项目HSE风险分析与防范措施[J].油气田地面工程,2022,38(1):74-79.
- [2]王浩.开挖穿越已建油气管道及光缆的施工分析[J].太原城市职业技术学院学报,2022(9):174-176.
- [3]吴中正,赵磊.直埋供热管道穿越河流及道路的设计施工[J].区域供热,2021(01):150-153.
- [4]王双印.直埋供热管道顶管穿越道路的布置形式与应力分析[J].区域供热,2020(06):122-129.