

# 城市更新地下管网顶管施工技术研究

伏 芳

新疆三联工程建设有限责任公司 新疆 克拉玛依 834000

**【摘要】**：地下管网建设在城市更新过程中扮演着重要角色，顶管施工技术因其减少对地面交通与环境的影响而广泛应用。本文研究了当前地下管网顶管施工技术的应用现状与面临的技术难题，分析了施工过程中可能出现的管道变形、地面沉降等问题，并提出了一系列解决方案。通过对不同施工方案的对比分析，研究表明，优化施工工艺、提升设备性能和加强施工管理是确保顶管施工顺利进行的关键。本研究为未来城市地下管网的施工提供了理论依据和技术指导。

**【关键词】**：城市更新；地下管网；顶管施工技术；施工工艺；技术难题

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.033

## 引言

城市化进程的加速使得地下管网的建设与更新成为现代城市基础设施建设的重要组成部分。地下管网顶管施工技术作为一种高效、环保的施工方式，逐渐成了城市更新中的优选方案。顶管技术通过减少对地面交通与环境的扰动，能够有效地提高城市地下管网的建设效率，降低施工成本。尤其在城市更新过程中，地下管线复杂，采用人工顶管，可以有效避免未知地下管线损坏。在实际应用过程中，施工中仍然面临诸多技术挑战，如土壤条件不稳定、管道变形、施工精度控制难度大等问题。因此，深入研究顶管施工技术的现状、难点及解决方案，推动施工技术的创新与改进，对于提高地下管网施工质量和效率具有重要意义。

## 1 顶管施工技术的基本原理与发展历程

顶管施工技术是一种非开挖式地下管道敷设方法，其基本原理是通过液压或机械顶进系统，将管道从始发工作井逐节顶入土层，同时通过掘进机头前方的刀盘切削土体，或者人工挖掘土体，并将渣土排出，最终在接收工作井中取出机头，完成管道铺设。该技术可有效减少对地面交通、环境和建筑物的影响，广泛应用于城区地下管线非开挖施工。

顶管法最早采用人工挖掘和液压千斤顶顶进，施工方法相对粗糙，工艺复杂且效率较低。但随着技术的进步，顶管施工设备逐步向高精度、高效率的方向发展，施工方法也逐渐向更加精准和高效的方向转型。

在发展过程中，顶管施工技术的种类不断增多，包括泥水平衡顶管机、土压平衡顶管机、复合顶管机、岩石顶管机等多种类型。每种技术的应用都具有其特定的优势与局限。随着各类新型设备和技术的不断突破，顶管施工的效率 and 精度得到了大幅度提高<sup>[1]</sup>。现代顶管技术结合了计算机数控、三维建模、实时监测等技术，使得施工过程中的各种变量得以精准控制，从而大幅提升了施工的安全性与可控性。

顶管施工技术的发展还得益于施工工艺的不断改进。随着城市地下管网建设规模的不断扩大，顶管施工的需求也逐渐从

单一的管道铺设，向复杂的多管道系统、不同材质管道的铺设扩展。这要求顶管施工技术不仅要具备更强的适应性，还需要在施工过程中灵活应对各种土质条件、管道连接方式以及周围环境变化等多重挑战。顶管施工技术的发展不仅是设备的升级换代，更是施工理念和管理模式的不断创新。

## 2 城市地下管网施工中遇到的关键技术问题

在城市地下管网施工过程中，存在着一系列关键的技术问题，这些问题直接影响施工的效率、质量及安全性。地质条件的不稳定性是最常见的挑战之一。不同的土层性质对顶管的推进能力及管道的稳定性产生直接影响。软弱土层或粘性土层容易导致顶管施工过程中出现管道变形或倾斜，甚至造成施工设备卡顿或损坏。地下水位的变化也会对施工产生不利影响，尤其在施工区域水位较高时，顶管推进力不足，容易引发管道塌陷或周围土壤沉降。施工中的精度控制问题也是一大技术难题。顶管施工通常要求精准控制管道的铺设路径，避免偏离设计轨迹。这对于复杂的地下环境尤为重要，尤其是在城市密集区域，管道需要穿越既有的地下设施，如电力、通信、燃气等管网<sup>[2]</sup>。若施工精度不足，可能导致与现有管网发生冲突，影响后续的修复或维护工作。顶管施工过程中设备的运行状况也是影响施工进度和质量的关键因素。设备出现故障或维护不及时，可能导致施工周期延长，增加成本。

施工过程中的土壤处理问题也备受关注。在一些特殊地质条件下，如沙土层、岩层等，施工过程中容易发生土体位移或管道破裂。为了应对这些问题，需要通过合理的土壤稳定技术来减少施工风险。包括但不限于土壤注浆、冻结土层、加固支撑等技术手段，确保顶管施工能够顺利进行。这些技术的应用往往需要结合现场的具体情况进行调整，因此对于施工人员的技术能力和经验要求较高。气候变化对施工的影响也逐渐显现。温度波动、降水等因素对施工过程中的土质及设备工作状态有较大影响。雨水渗入施工区域可能使土层发生膨胀，影响施工设备的推进稳定性。施工过程中对外部环境的适应性要求较高。

### 3 顶管施工中的技术难题及其解决方案

顶管施工中的技术难题主要集中在施工精度、土质适应性、设备可靠性和环境控制等方面。施工精度问题一直是顶管施工中的关键难题，尤其在城市地下管线复杂区域，施工路径必须精确控制，以避免与已有的地下设施发生碰撞。偏离设计路径可能会导致不必要的返工或管道损坏，严重时甚至会影响周围道路、建筑物的稳定性，必要时采用人工顶管，降低对地下设施的损害风险。为了提高施工精度，采用了高精度的测量设备，如激光扫描仪、三维激光定位技术等，能够实时监控顶管位置，确保施工过程中的路径精度。对于无地下设施的区域，则采用泥水平衡顶管工艺，采用智能化控制系统，根据实时数据调整施工策略，进一步保证管道的铺设路径不偏离设计要求。

土质条件对顶管施工有重要影响，需要根据不同地质条件选择适宜的顶管机。地下水压高、地层稳定性差的砂性土层和富水地层容易造成施工困难，甚至导致施工中途停滞。为了解决这一问题，在遇到不稳定土层时，通常使用泥水平衡顶管机可以利用其优异的泥浆环流系统和泥膜形成技术，减少顶管设备的阻力，从而提高施工效率。在土层软硬不均、掌子面土质差异较大地层，顶管机姿态难以控制，容易产生“抬头”、“磕头”或偏向，刀具磨损不均，掘进参数频繁调整。在这种情况下，需要做好超前地质预报，优化刀头配置，精准控制掘进速度和土仓压力，确保顺利顶进。大粒径卵石、漂石及硬岩地层顶进时，普通顶管机无法有效破碎大块石头，易造成刀盘卡死、刀具异常磨损、掘进停滞。需要采用岩石顶管机，配备高强度的盘形滚刀和可靠的刀盘驱动系统。对于超强探测发现的已知孤石区，可在地面采用钻孔预裂、旋喷加固等方法预先处理。

设备的稳定性和可靠性是确保顶管施工顺利进行的另一大难题。顶管施工设备的工作环境复杂，长时间的高强度工作容易导致设备磨损或故障，影响施工进度。在解决这一问题上，定期进行设备的检查和维护至关重要<sup>[3]</sup>。

近年来，随着技术的进步，顶管设备的智能化程度不断提高，在高精度导向系统方面：“激光靶导向+倾斜仪+行程传感器”的组合，以及更先进的“陀螺仪+惯性导航系统”的应用，实现实时、连续、三维姿态测量，不受距离和湿度影响。采用高性能的膨润土泥浆，在管道外壁形成稳定、连续的“润滑套”，大幅降低摩阻力，减少因摩擦力不均导致的姿态失控。

顶管施工的技术难题正在通过工艺优化、设备创新、材料升级和智能赋能等多个层面的综合措施得到有效应对，推动着该技术向更安全、更高效、更智能的方向不断发展。

### 4 优化顶管施工工艺与提升施工管理效率

优化顶管施工工艺是提升施工效率和降低施工成本的关键。施工前，精确的地质勘察和土层分析为施工方案的制定提

供了数据支持。不同的土壤类型、地下水位变化等因素，都会对施工进度与施工质量产生直接影响。利用现代化的地质雷达探测技术，可以更准确地判断地下土质和障碍物的位置，为施工方案的调整提供依据。施工中，采用先进的机械设备和自动化技术，能够大大提高施工效率，减少人工干预，降低施工过程中的人为失误。智能化的盾构机能够自动调整推进参数，实时监控推进力和土压，优化顶管机的工作状态，从而提高施工的安全性和精度。

施工管理的优化同样是提升整体施工效率的重要环节。在顶管施工过程中，施工现场的管理需要精细化和系统化。从材料采购、设备调度、人员安排到施工进度的控制，都需要一个全面、准确的计划与执行体系。信息化管理手段的引入，提升了施工管理的智能化水平，实时监控施工进度和设备状态，确保每个环节的顺利衔接。施工现场的实时数据采集与分析，能够及时发现并解决潜在问题，避免工期延误或成本超支。

项目管理中的协调工作也是优化施工的关键因素。不同施工团队之间的协作必须紧密，以确保各项任务能够高效配合<sup>[4]</sup>。在城市复杂的地下管网施工中，涉及多个工种的交叉作业，合理安排施工顺序和任务分配，不仅能够提升效率，还能避免因工作重叠或冲突而产生的资源浪费。施工管理团队应当加强与设计方、监理方及其他相关部门的沟通与协调，确保施工过程中遇到的技术难题能够及时得到解决，避免不必要的返工和延误。

施工工艺的优化还体现在顶管技术本身的进步。随着技术的不断发展，顶管机的工作效率不断提高，施工工艺也在不断优化。通过技术创新，采用更为精细的推进控制技术和更为高效的管道铺设技术，可以显著提高顶管施工的速度和准确性，提升施工质量。

优化顶管施工工艺和提升施工管理效率，关键在于技术、管理与协调的有机结合。顶管施工工艺的优化不仅仅依赖单一技术，而是趋向于“精准探测+智能装备+智能控制+绿色处理”的系统性解决方案。通过系统化的管理手段和先进的施工技术，不仅可以提升施工效率，确保施工质量，还能有效降低施工成本，为城市地下管网建设提供更为高效和可持续的解决方案。

### 5 顶管施工技术在城市更新中的应用前景

顶管施工技术在城市更新中的应用前景广阔，随着城市化进程的不断推进，传统的城市基础设施建设逐渐无法满足现代城市的需求，地下管网的建设与更新成为城市发展的迫切任务。顶管施工技术以其无开挖、低干扰的特点，在城市更新中具有显著的优势，尤其在老旧城区改造、交通繁忙的市中心及复杂的地质环境中，顶管施工技术成为理想的解决方案。其应用不仅能够有效降低施工对地面交通、环境的影响，还能够避

免对现有建筑物和地下设施的破坏，具有不可替代的优势。

在城市更新过程中，尤其是在进行老旧地下管网的改造与更新时，顶管施工技术展现出了强大的潜力。在传统的开挖施工方式下，地下管网的更换通常会对城市交通、商业和居民生活造成严重影响，而顶管技术的应用能够实现“无缝”作业，减少对地面环境的扰动，施工周期也大幅缩短。在一些重要的城市区域，顶管施工成为城市基础设施更新的首选方式，尤其在地面交通和人口密集的地方，顶管施工技术能够确保施工的高效性与安全性<sup>[5]</sup>。随着技术的不断进步，顶管施工设备也逐渐趋向智能化和自动化，未来的顶管施工将在精度、效率和安全性方面得到更大的提升。现代顶管设备不仅能够在复杂的地质条件下精确推进，还能实时监控施工过程中的土壤变化、管道位置和设备状态，确保施工过程中的高效控制和快速调整。随着高精度测量技术的应用，顶管施工将能够更好地适应城市复杂的地下管网系统，减少施工中可能出现的误差，确保施工质量。

在未来的城市更新过程中，顶管施工技术也将与其他新兴技术相结合，推动城市地下设施的智能化建设。结合大数据与人工智能，施工过程中可以实现对地下环境的实时监测与预测分析，提前识别潜在风险，优化施工方案。数字孪生及 BIM 技术与顶管施工技术的结合，可能使得地下管网的建设更加灵活与高效，从而大大提高城市地下管网的建设速度和质量。顶管

施工技术不仅在传统的管道铺设中具有优势，在更复杂的城市更新工程中也表现出巨大的应用前景。在进行地下综合管廊建设时，顶管技术可以高效铺设管道，避免过多的开挖作业，减少对城市功能的干扰。随着环保要求的提高，顶管施工的低噪音、低污染特性使其成为未来城市建设中的环保首选技术，满足绿色、可持续发展的需求。随着技术和管理手段的不断进步，顶管施工将在未来的城市更新过程中扮演越来越重要的角色。

## 6 结语

顶管施工技术在城市更新中的应用前景十分广阔，尤其在复杂的城市地下管网建设中，展现了其独特的优势。随着技术的发展，顶管施工设备不断升级，施工效率与精度持续提高，为城市基础设施的更新与改造提供了强有力的技术支持。未来，顶管施工技术有望与智能化、大数据等新兴技术深度融合，推动城市地下管网建设向更高效、更环保的方向发展。通过持续优化施工工艺和管理模式，顶管技术将在城市更新中发挥越来越重要的作用。

总而言之，顶管施工工艺已从一种“特殊”施工工法转变为城市地下空间建设的“主流”工法之一。它正处于一个从机械化到智能化，从解决有无到追求高效、精准、环保的转型升级阶段。随着城市化进程的深入和对环境保护要求的提高，顶管技术以其不可替代的优势，必将在未来的地下工程建设中扮演更加重要的角色，其发展前景十分广阔。

## 参考文献：

- [1] 姬立强,郑鉴,张琦.科技赋能河北城市体检与更新实践路径与成效探索[J].建设科技,2025,(18):48-52.
- [2] 张韵,张婉竹,王洋,等.城市地下管网更新改造策略的几点思考[J].给水排水,2025,61(05):124-131.
- [3] 蔡柳楠,侯伟超.建设高品质宜居城市着力打造现代化滨海城市新风貌[N].闽南日报,2025-05-06(002).
- [4] 朱永赵.城市更新背景下地下管网的更新与发展[J].安徽建筑,2025,32(01):53-54+82.
- [5] 许炳芳.城市更新背景下基于物联网技术地下管网智能监控系统构建与应用.河南省,河南普清环保科技有限公司,2024-09-01.