牵引管、顶管与微型顶管的施工工艺技术经济比选分析

李国兵
上海市嘉定区水务工程安全质量监督管理站　上海　201800

摘　要: 本文针对牵引管、顶管和微型顶管三种非开挖施工技术,从施工工艺、技术特点和经济性等方面进行了全面比较分析。通过案例研究和数据分析，探讨了各技术的适用范围、施工效率、成本构成及环境影响。研究结果表明，三种技术各有优劣，适用于不同的工程场景。牵引管适用于短距离、小管径工程；顶管技术适用于中长距离、较大管径工程；微型顶管则在短距离、小管径工程中具有明显优势。本研究为工程实践中施工技术的选择提供了理论依据和决策参考。

关键词： 牵引管；顶管；微型顶管；非开挖技术；施工工艺；技术经济分析

引言

随着城市化进程的加快和基础设施建设的不断推进，非开挖施工技术作为一种绿色建筑技术，能有效的实现“四节一环保”（节能、节地、节水、节材和环境保护），缩短工期，降低工程成本；在基础设施工程的管道铺设领域中得到了广泛应用。牵引管、顶管和微型顶管作为三种主要的非开挖施工技术，各有其独特的技术特点和应用范围。在实际工程中，如何根据具体条件选择最合适的非开挖施工施工技术，仍是一个亟待解决的问题。

本研究结合工作中的实际案例，通过对牵引管、顶管和微型顶管三种非开挖施工技术的施工工艺、技术特点、环境影响和经济性等方面进行深入比较分析，探讨三种技术在不同工程场景下的适用性和经济效益，归纳各自的优势和局限性，旨在为工程实践中的技术方案选择提供科学依据。

1 牵引管施工工艺及技术特点

牵引管又称拖拉管，是一种水平定向钻进的非开挖施工方法，其施工过程主要包括使用钻机沿设计轨迹打导向孔、地面仪器接收钻头内传感器探寻的信息扩孔成孔、牵引回拖完成管道铺设等步骤。牵引管施工流程如下：现场测量放线→导向孔钻进→泥浆配置→回扩清孔→牵引回拖管道→管外注浆置换与充填→工作坑回填→ CCTV 检测。水平导向钻进法根据土质条件的不同一次钻进的距离可达 100 ~600m 不等，能够铺装管线的最大直径可达 1000mm。

在实际应用中，牵引管技术主要用于铺设小直径（≤ 600 mm）管道，适用于地面有障碍物、地下管线密集等不宜开挖的情况。该技术广泛应用于通信管道、电力管道、燃气管道和小直径给排水管道的铺设工程中，特别适用于穿越河流、道路和其他障碍物的场景。常用管材包括聚乙烯、聚丙烯、钢塑复合管及钢管等。

牵引管技术主要优点包括施工速度快、效率高，工期短；对地面干扰小、适用于各种地层条件，减小地面开挖及恢复，环保节约成本。然而，该技术也存在一些局限性，如管径受限、施工精度相对较低、在复杂地质条件下可能出现偏差等，需注意挤土效应和扩孔缩孔风险。

2 顶管施工工艺与技术特点

顶管技术是一种采用液压顶进装置，在工作坑内将预制管节逐步顶进的地下非开挖施工方法。其施工过程主要包括建设工作井、安装顶进设备、顶进管节、掘出或吸出泥土或泥浆和测量纠偏等步骤。顶管施工流程如下：现场定线测量→工作井施工→后靠背安装→架设机台、激光经纬仪安装和调试→井壁开洞安装止水装置→箭头和先导管顶进→黑管顶进→安装简易挤扩机头→管顶进→机头和顶进设备拆除→检查井施工→钢护筒拔除并回填→ CCTV 检测。顶管技术的关键在于精确控制顶进方向和纠偏，以确保管道按设计轨迹铺设。

在实际应用中，顶管技术特别适用于长距离、管径≧ 600 mm 规格的大管径管道铺设工程，该技术广泛应用于市政排水管道、综合管廊等大型管道工程中。尤其是在城市中心区域等对地面干扰要求严格的场景。常用管材有钢筋混凝土管、玻璃纤维增强塑料夹砂管及钢管等。

顶管技术的主要优点包括适用于较大管径、施工精度高、对地面交通影响小等。然而，顶管技术也存在一些缺点，

如施工速度相对较慢、设备投资大、对地层条件要求较高等。

3 微型顶管施工工艺与技术特点

微型顶管技术是一种改良型顶管技术，其施工原理与常规顶管类似，但采用了更小型的设备和更精细的控制系统。微型顶管技术的施工过程包括微型工作井建设、微型顶进设备安装、管节顶进和精确测量等步骤。微型顶管施工流程如下：现场定线测量→制作工作井→安装推进设备→架设机台、激光经纬仪安装和调试→井壁开洞安装止水装置→箭头和先导管顶进→黑管顶进→安装扩孔切削机头→管道顶进→机头和微顶设备拆除→检查井施工→钢护筒拔除并回填工作井→ CCTV 检测。

在实际应用中，微型顶管技术主要用于小直径管道的铺设，适用于狭小空间和复杂地质条件下的管道敷设。根据国内外相关经验，单段顶距不宜大于 80 m，工作井深度最大不宜超过 10 m；该工艺适用于管径≤ 1200 mm 规格的小口径管道。常用于电缆管道、通信管道、小型给排水管道和隧道内管道敷设。常用管材包括玻璃纤维增强塑料夹砂管、钢管、玻璃纤维增强树脂混凝土管、钢筋混凝土管及球墨铸铁管等。

微型顶管技术的主要优点包括施工灵活，适应性强，施工精度高、对地面干扰极小、适用于复杂地层条件等。该技术特别适用于城市密集区、历史保护区等对地面沉降和振动要求严格的场景。然而，微型顶管技术也存在一些局限性，如管径有限、施工速度相对慢影响施工效率、设备复杂且操作要求高及成本较高等。

4 结合工程案例对牵引管、顶管与微型顶管的技术经济比较分析

三种施工工艺针对不同场景的常规选用，见表 1 牵引管、顶管与微型顶管的施工工艺技术比选分析。

表 1 牵引管、顶管与微型顶管的施工工艺技术比选分析

名称	牵引管	顶管	微型顶管
适用管径 最大埋深	正常≤ 600 mm，最大可达 1000mm	正常≧ 800 mm，最小 600mm	正常≤ 800 mm，最大可达 1200mm 埋深 10m 以内
常用管材	聚乙烯、聚丙烯、钢塑复合管及钢管	钢筋混凝土管、玻璃纤维增强塑料夹砂管及钢管	玻璃纤维增强塑料夹砂管、钢管、玻璃纤维增强树脂混凝土管、钢筋混凝土管及球墨铸铁管
适用场景	地面有障碍物、地下管线密集等不宜开挖的场景	长距离、大管径，对地面干扰要求严格的场景	狭小空间和复杂地质条件下的管道敷设场景
用途	通信管道、电力管道和小直径给排水管道的铺设	市政排水管道、综合管廊等大型管道工程	电缆管道、通信管道、小型给排水管道和隧道内管道敷设
特点	施工速度快效率高、对地面干扰小、适用于各种地层条件；但管径受限、施工精度相对较低、在复杂地质条件下可能出现偏差。	适用于较大管径、施工精度高、对地面影响小；但施工速度相对较慢、设备投资大、对地层条件要求较高等	施工灵活，适应性强，施工精度高、对地面干扰极小、适用于复杂地层条件等；但管径有限、施工速度相对较慢、设备复杂、操作要求高及成本较高。
现行 参照 标准	管线定向钻进技术标准 DG/TJ08–2075–2022 J11722 –2022 上海市	顶管工程施工规程 DB/TJ08–2049–2016 J11324 –2017 上海市	给水排水工程微型顶管技术规程 T/CECS 1113–2022 中国工程建设标准化协会

从技术性能比较来看，牵引管在施工速度和适应性方面具有优势，但在精度和管径范围上存在局限；顶管技术在管径范围和施工精度上表现突出，但施工速度较慢；微型顶管技术在施工精度和对环境影响方面表现最佳，但管径范围和施工速度受限。

从环境影响方面看，牵引管对地面的干扰最小，但可能产生较多泥浆；顶管技术对地面交通影响较小，但需要较大的工作井；微型顶管技术对环境影响最小，但施工周期较长。综合比较，三种技术各有优劣，选择时应根据具体工程条件进行权衡。

以排水管道铺设为例，对应三种工艺，选择常用管道的管径、管材及埋深，依据上海市预算定额及当期市场信息价计算的综合单价见表 2 牵引管、顶管与微型顶管的施工工艺经济比选分析。工作中涉及到工程案例众多，仅例举排水管道工程，2024 年度嘉定区农村生活污水处理工程总投资 6.4 亿元，有污水管道 DN300 的牵引管。如嘉定区胜辛路 (沪宜公路 – 胜竹路) 污水管道改造工程总投资 3443 万元，有污水管 DN800–1000 顶管。嘉定南翔污水处理厂配套工程 (二期) 总投资 6436 万元，有污水管道 DN1000–1200 的顶管。嘉定新城污水厂配套污水管道工程总投资 6.8 亿元涉及污水管道 DN800–1200 的微型顶管。

表 2 牵引管、顶管与微型顶管的施工工艺经济比选分析

序号	给排水管道铺设		牵引管		顶管		微型顶管	
	管径 mm	埋深 m	PE 管 元 /m	井 万元 / 座	混凝土管元 /m	工作井 万元 / 座	树脂混凝土管元 /m	钢制沉井 万元 / 座
1	DN300	4	2600	5			4650	11
2	DN400	4	3100	6			4950	11
3	DN500	4	3600	7			4950	11
4	DN600	4	4600	8	3500	40	6250	13
5	DN800	6	7000	10	3800	55	6950	20
6	DN1000	6	9400	13	4900	60	8650	29
7	DN1200	6			6500	65	9950	32
8	DN1350	6			7900	65		
9	DN1500	6			10000	70		

从经济性比较来看，牵引管技术的建设投资和施工成本相对相对较低。其次是微型顶管。

在无法开槽埋管的条件下，小直径管道铺设，首选牵引管技术。除非现场条件场地空间不足、较狭小且地质条件复杂时选择微型顶管。地质条件复杂的情况下，投资会大幅增加。

在无法开槽埋管的条件下，大管径，长距离，埋深较深的管道，首选顶管技术。顶管技术的建设投资和施工成本较大，因为其顶进工作井及接受工作井的投资占比较大，当顶进距离较长，其单位长度的施工成本相对稳定且具有一定的经济性。

在无法开槽埋管的条件下，大管径，短距离，埋深不深的管道，选择微型顶管技术，具有更好的经济效益，因其工作井采用钢筒，施工周期短，可重复利用，此条件下与顶管相比大大节省了投资。虽说微型顶管的建设投资和施工成本也高，且顶进的长度及深度均受限，但在特殊环境下，不宜选择牵引管及顶管时，微型顶管也是不错的选择。

5 结论

通过对牵引管、顶管和微型顶管三种施工技术经济的全面比较分析，可以得出以下结论：

（1）牵引管技术适用于短距离、小管径工程，具有施工速度快、建设投资较低的优势，但在精度和复杂地质条件下存在局限。

（2）顶管技术适用于中长距离、埋深较大、大管径工程，具有施工精度高、适用范围广的特点，但建设投资有施工成本大、施工速度较慢。

（3）微型顶管技术在短距离、小管径工程中具有明显优势，特别适用于施工环境比较复杂、场地狭小且对地面干扰要求严格的场景。其单段顶距相对较短，不宜超过 80m，有一定的局限性。微型顶管单段施工为直线，则应对下障碍物的能力较弱。作业井内施工空间较小，每节管道长度也受限。相对而言建设投资较高、施工速度较慢。

在实际工程中，应根据工程规模、地质条件、环境要求和经济预算等因素，综合考虑选择最合适的施工技术方案。由此可见针对同一场景，技术经济比选看，非开挖埋管的这三种工艺，是有一定的排它性，能同时选择二种工艺都适合的情况较少。

未来研究可进一步探讨三种技术的优化方案和新型材料的应用，以提高施工效率和经济性。

参考文献：

[1] 朱春霞 . 非开挖施工技术在市政排水管网施工应用 [J]. 中国科技信息，2020 (13): 51–52.

[2] 陈卫 . 非开挖定向钻拖拉管技术在市政排污工程中的应用 [J]. 中外建筑，2020（2）：177–179.

[3] 耿庆申，王宁宁 . 非开挖导向钻进造价水平及主要影响因素研究 [J]. 工程经济，2021（4）：43–46.

作者简介：李国兵、男、1971 年 3 月、汉、本科、水务工程安全质量监督管理