

顶拉管技术在城市地下管网建设中的应用

周庆磊 张 勇

中国一冶集团有限公司 湖北 武汉 430081

摘 要：随着城市化进程的加速，城市地下排水管网建设面临着越来越多的挑战。传统的明挖埋管施工工艺因其对交通和环境的影响较大，已难以满足现代城市排水管网建设的需求。顶拉管施工技术作为一种新型的非开挖施工技术，在城市地下排水管网建设中得到了广泛应用。本文旨在探讨顶拉管施工技术的原理、特点、施工工艺及其在城市地下排水管网建设中的应用效果。

关键词：城市地下排水管网；顶拉管施工技术；应用

引言

近年来随着城市化的不断发展，城市中的排水管道也需要同步更新。传统的排水管网施工工艺主要有两种，明挖埋管和非开挖技术。明挖埋管施工工艺一般采用拉森钢板桩或槽钢对管槽进行支护，挖掘机取土后敷设管道。该工艺需对道路进行大面积封堵，造成交通压力大，如遇到风化岩，钢板桩或槽钢支护施工困难，工期将会延长，且在明挖施工中由于支护施工不规范容易发生管槽坍塌事故，危险性较大。可见，传统的明开挖在经济和效率上已经难以满足城市中管道建设的要求。

1 顶拉管技术概述

1.1 技术原理

先导式顶拉管施工工艺依托水平定向钻机、导向钻头、导向仪等核心设备，于管道起始端工作面，遵循预设的导向钻孔路径，运用水平定向钻进技术先行开凿先导孔，随后调整至设计管道的水平中心轴线。接着，沿此中心线，自管道一端的工作井深入钻至另一端的工作井。抵达目标工作井后，替换原有的导向钻头为直径不超过管道外径50毫米的反向掘进钻头，以执行反向扩孔作业。与此同时，于掘进钻头后方，装配自密封承插接口短管，并依次连接特制短钻杆、后顶板及锚环，形成反向承拉锚固系统。在反向掘进过程中，掘进头负责扩孔作业，并通过特制短钻杆传递回拉力，借助后顶板与锚环的协同作用，将自密封承插接口短管逆向拉顶入土层，从而实现管道的扩孔拉顶铺设。

1.2 技术特点

施工高效且精准定位：先导式顶拉管施工法凭借定向钻机的精确导向，能够沿预设路径一次性穿越多个井位，相较于顶管、明挖及传统拖拉管施工，显著缩短了工期，减少了如钢板桩支护、道路修复、大面积沉井及管道多次连接等工序，从而大幅度提高了施工效率与精度。

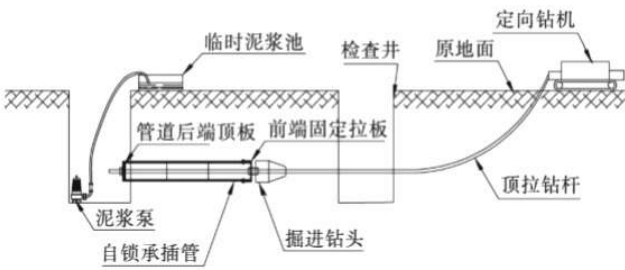


图1 先导式顶拉管工艺原理图

安全性增强，风险降低：在复杂地质条件如淤泥质土、砂土中，传统施工法易导致流砂问题，增加施工风险。而先导式顶拉管法通过减少沉井面积，避免了大面积开挖，有效降低了流砂风险及施工中的安全隐患。

优质管道施工，防渗漏性能强：采用自锁双密封柔性管节，该工法即便在地质处理困难的情况下，也能通过柔性接头适应不均匀沉降，确保管道结构的完整性和密封性，有效防止渗漏，提升了管道施工质量。

顶进过程稳定顺畅：施工过程中，顶拉管法展现出了稳定的顶进性能，减少了纠偏操作的需求，并有效避免了卡钻问题，确保了施工的连续性和稳定性。

平行推进技术，保障管道寿命：通过回扩掘进拉顶施工的平行推进方式，该工法确保了管道在铺设过程中不受拉伸变形影响，实现了压力自平衡，从而延长了管道的使用寿命。

环境友好，施工条件优越：该工法维持了施工内外的压力平衡，不仅改善了施工环境，还有效解决了路面塌陷和管底标高控制不精准的问题，体现了其环境友好性和施工条件的优越性^[1]。

2 施工工艺流程

先导式顶拉管施工工艺主要包括五个核心步骤：前期筹备阶段、井位构建阶段、定向钻孔导向阶段、管道铺设阶段以及管道顶拉安装阶段。

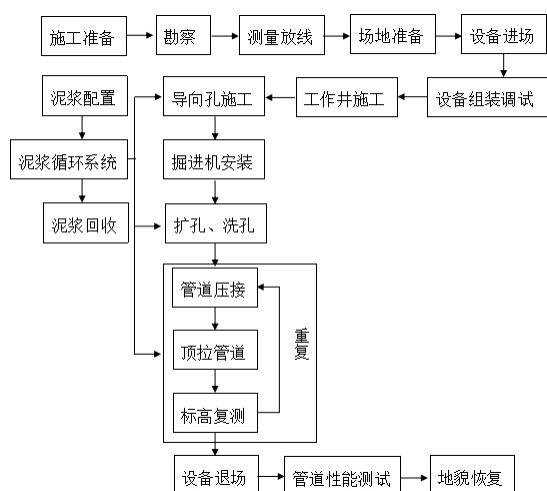


图2 顶拉管施工流程图

3 顶拉管技术在城市地下管网建设中的应用要点

3.1 施工准备

在施工准备阶段，首要任务是组织专业人员深入研究施工图纸，掌握设计意图、技术要求及工程特点，并针对图纸中的疑问点进行记录与讨论，通过与设计、甲方及监理单位的会审，确保施工方案的一致性和可行性。同时，需编制详细的施工方案，明确各部门的职责与任务，为施工提供坚实的技术保障。此外，结合工程实际情况，制定周密的施工计划，并开展全面的技术安全交底及操作人员上岗培训，确保每位参与者都具备必要的技能与安全意识。对于进场的材料，需进行严格的质量检查与妥善防护。

3.2 勘察与场地准备

勘察工作是非开挖铺管工艺中不可或缺的一环，主要包括施工物探和管线交底。鉴于管道铺设的连续性要求，施工前必须全面、细致地进行施工区域的物探工作，并与相关单位沟通协调，确保地下管线的准确交底，避免施工过程中的意外障碍。场地准备方面，需根据现场平面图合理规划材料堆放区与施工机械进出路线，确保施工现场的水、电、道路畅通无阻，并对场地进行清理平整，为施工机械的平稳运行提供条件。

3.3 测量放线

测量放线是施工精度的关键保障。依据设计要求，准确测量并标记出管道的起点、终点、轴线、折点、高程及井口位置，同时定出管道开挖口的边线，并采用明显标识如石灰线，便于施工机械的精准作业。此外，还需特别注意附属构筑物及管线预留口的位置，设置可靠的栓桩与标志，确保其得到妥善保护^[2]。

3.4 工作井施工

工作井的施工采用沉井法，其内径的确定需依据定

向钻机的类型：若采用坑式设备，工作井内径应不小于3米；若选用地面式设备，则内径至少需达到2米。在下沉过程中，应确保挖掘机的掘进作业均匀且对称，以保证井体的稳定下沉。施工采用不排水下沉方式，需确保井内水位始终高于井外水位至少1米，以维持井内外压力平衡。针对特定地质条件，还需采取适当的减摩措施，以降低下沉过程中的阻力。当工作井紧邻周边建筑物或井圈土质较差时，为确保井体及周边环境的安全，需采用高压旋喷桩进行周边防护。若基底为淤泥、淤泥质土等软弱土层，则需通过水泥搅拌桩或高压旋喷桩对地基进行加固处理，以提高其承载力。在无周边防护桩的情况下，为防止管节在洞口处发生沉降，影响整体管道的标高和稳定性，需在洞口处增设洞口加固桩。沉井材料选用C35混凝土，抗渗标号达到P6，以确保井体的结构强度和抗渗性能。对于高压旋喷桩的注浆体，其水泥用量应不小于200kg/m，强度不低于1.2MPa，且水泥强度等级需达到42.5，以保证注浆体的质量和稳定性。

3.5 导向孔施工

定向钻导向施工是先导式顶拉管工艺中的关键环节，其精确性直接关系到整个管道铺设的准确性和效率。在施工过程中，必须严格按照施工图纸和物探成果来规划管道轨迹，并确保定向钻杆能够准确地从起始井穿越沉井预留孔，直至到达结束井。为实现这一目标，可以采用两种导向方法：坑内导向和地面造斜坡导向。坑内导向方法无需构建斜坡，而是直接在工作井内将钻杆水平送入预定平面，这种方法在标高控制方面具有极高的准确性。另一种方法是地面造斜坡导向，它通过将设备放置在地面上，利用导向钻头从地面钻孔并构造斜坡进入土层，当达到设计标高后，调整钻头方向进行水平钻进，直至抵达顶拉井位。这种方法不仅节省了地面空间，还加快了施工速度，但对标高控制的要求也相应提高。

3.6 泥浆配置

在顶拉管施工中，泥浆扮演着至关重要的角色，它不仅能够稳定孔壁、降低钻杆阻力，还能有效减小钻头与土体间的摩擦，并起到冷却钻具的作用。为确保施工的高效与安全性，必须根据不同的土层特性，精准配置泥浆，并添加相应的添加剂。特别是在穿越砂土层时，由于泥浆易流失，需要增加提粘剂以提高泥浆的粘度，确保其稳定携带钻屑至地表。而泥浆的后续处理同样重要，采用真空泥浆车进行抽吸，并将其运送至底泥厂进行专业处理，以确保施工环境的整洁与环保。在配置泥浆时，需严格把控其性能指标，以满足施工需求。具体而言，泥浆的粘度需足以维护孔壁稳定，并顺畅携带钻屑；失水量控制方面，

一般地层30分钟内的失水量应控制在10~15ml之间,而对于水敏性易坍塌和松散地层,失水量则需控制在5ml以下;此外,泥浆的PH值也需保持在8~10的适宜范围内。值得注意的是,在施工过程中,随着扩孔阶段的不同,需要灵活调整泥浆的压力和流量,以确保施工的顺利进行。

3.7 回扩掘进顶拉管道

在先导式顶拉管施工中,顶拉铺管技术占据核心地位。这一过程涵盖了管节的精密连接、钻杆与顶拉挡板的稳固安装、牵引掘进以及管道的顶拉安装等多个关键步骤。施工初始,掘进机通过旋转接头与拉管头紧密相连,并顺利接上首节管道。以先前精心施工的导向孔为准确基准,掘进机在工作井井壁提供的坚实反力作用下,利用千斤顶在工作井内高效完成管节的连接工作。随后,管道内部钻杆得以延长,为后续的掘进作业做好充分准备。管节安装就绪后,定向钻机启动牵引掘进程序,掘进机沿导向孔精确轨迹前行,对土层进行有序破除。破除过程中产生的渣土,在泥浆的携运作用下,顺利通过管道被带入工作井内进行处理。这一过程中,管节的顶拉与压接操作循环进行,直至整个铺管任务圆满完成。值得一提的是,在管节压接之前,必须确保接头处得到彻底清洗,这一步骤对于保障管道施工质量至关重要,任何杂质或污垢都可能影响管道的密封性和整体性能。

3.8 CCTV管道检测

为确保施工完成的截污管道质量达标且内部无瑕疵,需采用CCTV闭路电视设备对管道进行全面细致的检查。这一检查过程不仅为竣工档案提供了宝贵的影像资料,更为管道的长期稳定运行奠定了坚实基础。在管道施工圆满结束后,专业的检测人员会操控CCTV检测机器人系统深入管道内部。机器人将从管道的一侧缓缓行进至另一侧,沿途对管道内部的每一个细节进行详尽的摄录与存储。特别对于经过修复后的管道缺陷位置,机器人会进行更为细致的拍摄,确保任何潜在问题都能被准确记录。完成管道内部的摄像工作后,要及时对收集到的数据进行全面处理与分析,并据此生成详尽的检测报告文件。这份报告不仅详细记录了管道的内部状况,更对存在的问题进行了明确标注与分类,为后续可能的维护与维修工作提供了极大的便利。

3.9 地貌恢复

在管道施工及工作井恢复工作全部完成后,还需特别关注施工过程中定向钻机对地层造成的破坏,并采取有效措施进行恢复。特别是对于造斜段钻孔以及管道与钻孔之间的环隙,必须进行细致的注浆恢复工作。为恢复地面的强度,通常采用高压旋喷注浆机,通过造斜

孔进行精准注浆。这一方法不仅能够有效填补地层中的空隙,还能增强地层的整体稳定性。而在管道与钻孔间环隙较大的情况下,则需在管道铺设完成后,进行额外的回填工作。具体来说,利用置换泥浆,这种由水泥、粉煤灰、石膏等凝胶材料组成的特殊泥浆,通过施加一定的压力,将其压入管道与土层之间的间隙中。这样一来,就能将原本存在于环隙中的触变泥浆置换出来,从而确保地层的完整性和稳定性。

4 应用案例及效果分析

中山市中心组团的黑臭(未达标)水体整治提升工程(项目三)是一个综合性的治理项目,涵盖了截污、调蓄、清淤、管道检测与修复、调水补水、岸线及生态修复,以及水务信息化等多个方面。其中,截污管道工程是该项目的重要组成部分,涉及沙溪、大涌、南区及五桂山四个镇区的58条河涌。这些河涌的截污管道工程需穿越中山市的多条繁忙交通要道,如105国道、沙溪大道、岐江公路、兴工路和工业大道等。由于这些道路两侧紧邻建筑物和市政设施,且车流量大,若采用传统的明开挖或顶管施工方法,将面临交通严重拥堵、施工用地紧张、安全风险高、对周边环境造成不良影响以及可能破坏原有设施等多重挑战。为有效应对上述问题,本项目创新性地采用了顶拉管技术。这一技术的应用极大地缓解了工作面不足的问题,显著降低了对原有设施的破坏程度,减少了临时用地的占用,并加快了施工进度。同时,由于顶拉管技术的高效性,还减少了所需机械设备的数量,进一步降低了施工成本。具体来说,采用顶拉管技术共节约成本7200万元,施工时间仅为12天,相比顶管施工的29天和明开挖的18天大大缩短。同时,顶拉管技术对周围环境影响小,施工安全性高,社会效益显著。因此,顶拉管技术在本项目中的成功应用,为解决类似复杂环境下的管道施工问题提供了宝贵的经验和借鉴。

结语

顶拉管技术作为一种新型的非开挖施工技术,在城市地下管网建设中具有广泛的应用前景。其施工速度快、精度高、安全可靠、施工质量好、适应性强等特点,使其在现代城市管网建设中具有重要的应用价值。未来,随着技术的不断发展和完善,顶拉管技术将在城市地下管网建设中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]徐荣华,孟远.顶拉管施工技术的探讨[J].港口航道与近海工程,2024,61(02):123-126+132.
- [2]林晓红,熊冠宇,王贯州.先导式顶拉管技术在给排水工程中的应用探讨[J].江西建材,2024,(01):250-252.