

市政道路污水管道深基坑顶管施工工艺

文 / 崔文明 海东河湟实业（集团）有限公司

摘要：在城市排水系统中，市政道路污水管作为重要组成部分，决定了城市的排水功能。顶管施工工艺凭借其非开挖特性，可有效降低对城市交通与环境的负面影响，相比传统开挖技术优势显著。本文重点探究市政道路污水管道深基坑顶管施工技术。提出污水管道深基坑顶管施工中技术、施工现场、材料设备等方面的准备工作；探究深基坑顶管施工中工作井和接收井、顶管设备选型、顶管施工控制等技术要点；分析顶管施工成品质量验收方法。旨在为市政道路污水管道工程施工提供有效参考。

关键词：市政道路；污水管道；深基坑；顶管施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.071

引言

在城市不断发展背景下，城市基础设施建设规模不断扩大，污水管道作为城市排水系统的重要组成部分，其施工质量、施工效率关乎排水功能正常发挥以及居民生活质量。传统明挖工艺在城市区域施工存在交通疏导困难、周边环境影响大等问题。深基坑顶管施工作为一项非开挖工艺，无需大面积破坏路面，可在不中断交通的情况下完成管道施工。顶管施工特别适用于复杂地质条件、密集城区环境中，但该工艺施工环节复杂、技术要求高，涉及深基坑支护、顶管设备操作、泥浆压力平衡等各项技术。基于此，深入研究市政道路污水管道深基坑顶管施工技术，对完善城市排水系统有着重要意义。

一、施工准备

（一）技术准备

正式施工前，组织各单位人员对施工图纸展开会审工作，掌握图纸的设计意图，确定管道走向、坡度、埋深、管径等各项参数信息。同时结合项目工程实际状况，针对图纸中的问题与设计单位加强沟通共同解决。依据施工图纸、技术标准，编制可行性施工组织设计、专项施工方案，其中施工组织设计中应包含施工部署、进度计划、资源配置计划、质保措施、安保措施等方面；专项施工方案要针对深基坑特点，制定详细顶管施工工艺、技术、应急预案。对施工人员展开技术交底，熟悉工艺流程、技术标准、安全操作规程。技术交底采用口头、书面相结合的方式，确保交底内容足够精准、详细，相关人员签字确认^[1]。

（二）现场准备

做好施工场地平整工作，将现场障碍物清理干净，保持施工车辆、机械设备顺利通行。结合施工需求合理布置临时施工设施，包括材料堆放区、机械停靠区、办公区等等。根据设计标准开展测量放线工作，明确顶管工作井、接收井的位置以及管道中心线与高程。做好测控点保护工作，定期校核，测控点误差超标。开展施工现场排水作业，设置集水井、排水沟，以防地下水、雨水长期浸泡基坑。还要采取有效降水措施，降低地下水位，以免产生涌水等风险。

（三）材料与设备准备

严格按照设计标准采购管材、橡胶密封圈、触变泥浆等材料，重点检查管材质量合格文件，其规格、型号、性能指标等必须满足设计标准。材料入场后先检查表面质量，再进行性能抽查，不合格材料退场处理。配备齐全的机械设备，如顶管机、起重机、泥浆泵、测量仪器等等。全面检查机械设备情况，定期维护，保证性能符合使用标准，以免施工时故障。针对机械设备的易损零部件，应提前准备备用件，出现问题后及时更换，确保施工连续进行。

二、深基坑施工

（一）工作井与接收井施工

1. 基坑支护

依据勘察报告中土层参数、地下水位、周边建筑分布等情况选择基坑支护形式。针对地下水位埋深3m、周边有居民楼的粉质黏土地质条件，可选用800mm间距、1.2m间距的钻孔灌注桩支护结构，桩长根据实际情况设定为15-20m，要求能嵌入到风化岩层2m以上，并搭配3道钢管内支撑。采用有限元软件模拟施工方案，分析所选支护方案在最大开挖深度时，基坑边坡位移水平控制量，必须满足《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120）规范标准。如若采用钢板桩支护，在此类地质条件下，可选择拉森IV型钢板桩，单根桩长为15m左右，如土深度大于7m，并设置两道H300×300型钢围檩与 $\phi 325 \times 8$ mm钢管支撑，确保能承受200kN/m以上的土压力^[2]。

2. 基坑开挖

深基坑开挖要求做到“分层分段、对称开挖、先撑后挖”的要求。每层开挖深度控制在2-3m之间，分段长度最大不超过20m。在开挖期间，及时设置内支撑，在开挖至2.5m时安装第一道支撑，随着开挖深度逐步扩大依次安装后续支撑，相邻支撑安装间隔应控制在48h以内。结合现场监测数据，每完成一层开挖并设置支撑后，基坑边坡位移增量在2mm左右，未出现显著变形情况。同时还要严格控制基坑边缘堆载量，弃土堆坡脚与基坑边缘间距不得小于2m，堆载高度不得超过1.5m。否则会加大基坑边坡位移量，甚至超过安全阈值，造成施工事故。

3. 井体结构施工

工作井与接收井如图 1、图 2 所示。

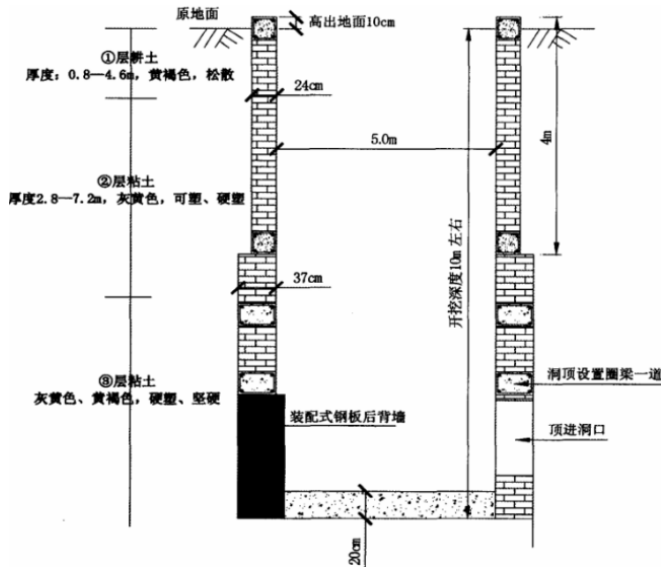


图 1 工作井剖面图

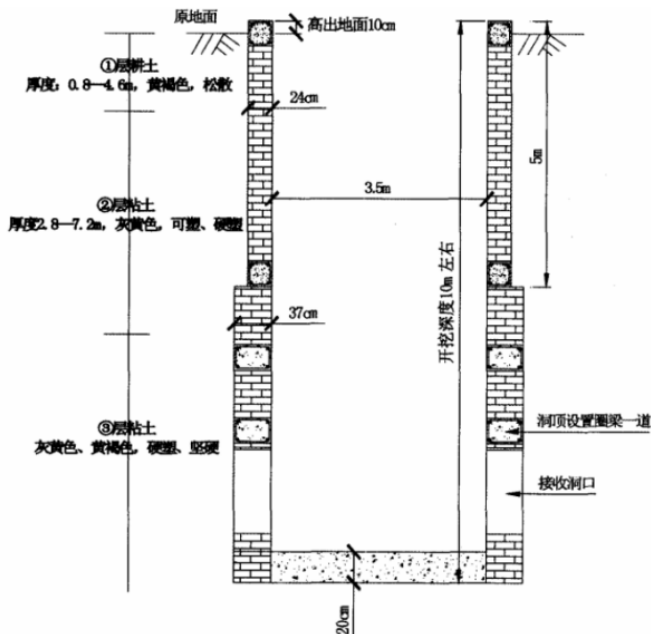


图 2 接收井剖面图

井体施工前需做好底部平整作业，要求基底标高误差不超过 20mm。垫层采用 C15 混凝土，铺设厚度为 100mm，浇筑时用平板振捣器振捣密实，要求 18d 抗压强度值不低于 18.5MPa，确保能满足设计标准。井体钢筋绑扎中，钢筋间距偏差不得超过 10mm，保护层厚度偏差不得超过 5mm。采用木模板，拼缝宽度控制在 2mm 以内，使用对拉螺栓固定，设置间距为 600×600mm，以保障模板足够牢固、不变形。井体使用 C30 商品混凝土，坍落度控制在 100-140mm 之间，浇筑速度控制在 3-5m³/h 之间，以防出现冷缝情况。完成浇筑工作后，在混凝土表面覆盖土工布并洒水，养护周期不低于 14d。在闭水试验中，严格按照《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB

50268) 标准进行，在试验水头达到规定水头时开始计时，重点观测期间管道的渗水量，不得超过规范标准，满足验收要求 [3]。

4. 基坑监测

基坑监测需要兼顾全局，且要找到监测重点。在基坑边坡顶部，每隔 20m 布设一个沉降监测点、水平位移监测点。在基坑周边建筑的四角、沉降缝处设置沉降监测点，间距点设置间距应不超过 15m。沿着基坑周边布设地下水位监测点，设置间距控制在 30-50m 之间，每口井深度应低于基坑开挖面的 3-5m。在基坑开挖初期，深度为 0-5m 之间，监测频率为 1 次/d；开挖深度达到 5-10m 时，监测频率提升至 2 次/d；开挖深度超过 10m 后，监测频率提升至 3 次/d。在顶管施工中，监测频率为 2 次/d。根据监测数据确定 24h 内的水平位移量、累计位移量，一旦超出预警值需立即启动应急预案，采用回填反压、增设临时支撑等方法，控制位移数据，以免基坑失稳造成安全事故。还要重点监测周边建筑的沉降量，确保建筑沉降量低于规定标准的 20mm，保障周边建筑的安全性 [4]。

三、顶管施工

顶管施工如图 3 所示。

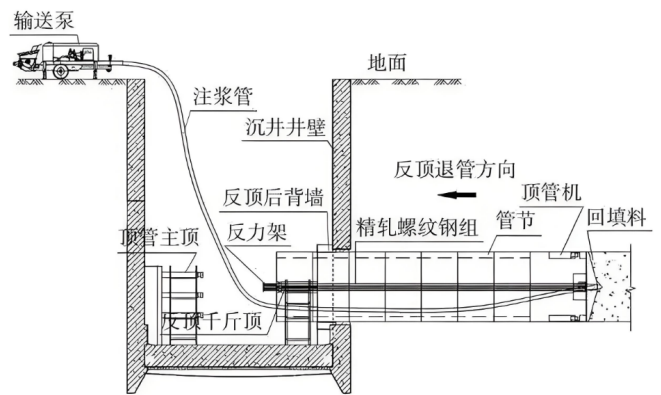


图 3 顶管施工示意图

(一) 顶管机选型

结合管径、地质条件、顶进距离等因素选择顶管机。针对管径较大、顶进距离较长、地质条件较差(粉砂层、淤泥质土等)、地下水位较高的情况，通过对顶管机对比分析，可选择泥水平衡式顶管机。该设备适用于复杂地质条件，采用泥水压力保持开挖面土压力平衡性，有效控制地面沉降量。在粉砂层内，顶管机水仓压力控制在 0.2-0.25MPa 之间，淤泥质土层则要将压力控制在 0.15-0.2MPa 之间，以保障开挖面的稳定性。实际施工监测数据表明，采用该机型施工中，可将地面最大沉降量控制在 15mm 以内，满足《城镇给水排水技术规范》(GB 50788) 中顶管施工沉降量要求。

如若施工区域为黏性土、砂性土混合地层，且管径较小、顶进距离较小的情况下，可采用土压平衡式顶管机，该类顶管机运行中通过控制土仓土压力使开挖面压力平衡，降低施工成本。在黏性土地层作业中，将土仓压力

控制在 0.18-0.22MPa 之间,顶进速度控制在 20-25m/d,避免施工速度过快。

(二) 顶管设备安装

将顶管机、主顶油缸、后背墙等设备安装在井内,使用钢筋混凝土制作后背墙结构,根据工作井规格设定后背墙尺寸,高度不低于 1.5m,混凝土强度等级为 C35,经计算确定后背墙可承受最大顶力。主顶油缸采用 2000kN 的液压油缸,共计准备 4 台,安装期间液压油缸的轴线与管道中心线偏差不超过 5mm,顶力合力中心与管轴线偏差不超过管径的 5%。完成安装工作后,先空载运行一段时间,观察油缸形成误差量是否达标^[5]。

顶进系统、泥浆输送系统、测量系统等需要确保其密封性。使用 DN100 无缝钢管用作输送管道,管道接口部位使用法兰连接,密封垫片采用耐油橡胶材料。测量系统采用激光经纬仪导向,该装置的测量精度可达 10mm/km。做好设备调试工作,泥浆输送系统展开压力测试,要求在 1.5MPa 的压力下不得出现渗漏情况。完成测量系统校准后,分析实际偏差是否超标,以保障安装质量。

(三) 顶管施工工艺

顶管机出洞前,在工作井洞口位置设置双层帘布橡胶板止水装置,要求帘布直径比管道外径大 200mm。出洞时降低顶管机的推进速度,速度不超过 1m/h,并向洞口外侧注入膨润土泥浆,形成厚度约为 50mm 的润滑层。保持洞口处水土压力稳定性,以免产生涌水、涌砂情况,确保顶管机能顺利进入土层内。

在顶管机顶进期间,应顶进速度控制在 8-12cm/min 之间,顶力维持在 800-1200kN 之间。根据不同地质条件灵活调节泥浆压力。粉砂层内,泥浆压力应比地下水压力高 0.05-0.1MPa。采取实时监测方案,一旦实际顶力超过 1500kN,需及时调节泥浆配比参数,提高泥浆浓度,使顶力逐渐恢复正常。每顶进 50cm 的距离开展一次测量,将管道轴线偏差控制在 10mm 以内、高程偏差控制在 15mm 以内。一旦管道顶进偏差超出允许范围,需及时纠偏,以免误差累积量过大,纠偏角度控制在 10' -20' 之间,以防过度纠偏。纠偏时使用顶管机两侧千斤顶推力方式,小角度、多次纠偏操作,将管道轴线恢复到允许偏差范围内^[6]。

顶管机接近接收井时,提前 30m 距离降低顶进速度至 3-5cm/min。接收井洞口处提前设置止水装置,对洞口土体加固处理。严格按照上述顶进操作,可确保管道精准进入到接收井内,保持洞口密封良好,尽可能加强渗漏控制。

(四) 触变泥浆技术

使用膨润土、水、增稠剂等原料按照一定配比参数制作触变泥浆,在无特殊情况下,膨润土:水:增稠剂比重为 1:6:0.02,并进行试验检测,确定泥浆漏斗黏度,标准范围在 28-32s 之间,失水量应不超过 15mL/30min。泥浆泵提供动力将触变泥浆从管道中输送至顶管机注浆孔内,注浆压力严控在 0.1-0.2MPa 之间,

注浆量为管道和土体间隙体积的 1.5-2 倍。严控注浆量有助于降低顶进阻力。完成顶管作业后,使用水泥浆置换触变泥浆,置换压力控制在 0.2-0.3MPa 之间,保障泥浆被全部置换,以免影响到周围环境。

四、成品质量验收

待到顶管完毕后,严格按照《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268)对其外观展开全面质量检查。外观检查中,观察管道连接部位橡胶圈密封安装是否正确,不得存在破损、扭矩等问题,管节部位不得有破损、裂缝情况。开展管道闭水试验,试验段长度在 1000m 以内,在试验水头达到规定水头后,观察管道渗水情况,对于管径 DN1200mm 的污水管道,要求其 24h 渗水量在 $3\text{m}^3/(\text{km}\cdot\text{d})$ 以内。使用水准仪、全站仪等设备复测管道轴线位置、高程等参数,轴向偏差控制在 30mm 以内,高程偏差控制在 20mm 以内^[8]。严格验收管道各项参数,保证污水管道深基坑顶管质量满足设计要求与行业标准。

结语

综上所述,市政道路污水管深基坑顶管工艺相比传统工艺优势明显,已经成为城市排水工程建设中的重要技术。在顶管施工中,做好施工准备、深基坑施工、质量控制等工作,保障项目工程顺利推进,提升整个排水管施工效益。在实际施工中,需结合施工场地的地质条件、周边环境、施工要求,灵活调节施工方案,持续优化施工参数。未来,随着城市排水系统逐步扩大与升级,新材料、新设备、新工艺的不断出现,深基坑顶管施工工艺也要做到与时俱进,不断加强技术创新,进一步探索自动化技术、绿色技术的应用,充分发挥深基坑顶管工艺在排水工程建设中的积极作用,推动城市的可持续发展。

参考文献

- [1] 闫双江. 黄土地区市政“不开槽”施工技术研究[J]. 工程建设与设计, 2025(2): 116-118.
- [2] 杨云军. 顶管施工技术在污水管道工程中的应用分析[J]. 中华建设, 2023: 167-169.
- [3] 钟逢明, 杨奇琦, 彭庭国, 等. 污水管道顶管施工中高压旋喷桩加固处理的应用[J]. 建筑技术研究, 2021, 3(11): 123-125.
- [4] 金丹敏, 陈晔琳. 浅谈市政污水管道工程中的顶管施工[J]. 生态环境与保护, 2020, 3(7): 61-62.
- [5] 陈楹泓. 福州市元洪投资区污水处理厂配套尾水管道工程过路顶管技术的应用[J]. 居业, 2024(9): 28-30.
- [6] 高洁. 城镇污水处理管道顶管施工及质量控制研究[J]. 工程建设与设计, 2024(5): 226-228.
- [7] 刘艳君, 毛少杰, 石永. 超深市政污水管道下穿河道顶管施工技术[J]. 建筑技术, 2023, 54(18): 2274-2276.
- [8] 田飞. 顶管施工技术在市政污水管道工程中的应用研究[J]. 四川水泥, 2024(1): 203-205.