

# 市政排水工程手掘式顶管施工技术研究

施艳秋

吉林省双辽市公用事业服务中心

**摘要：**随着城市建设和改造工作的不断开展，我国的手掘式顶管施工技术取得了长足进步，无论在技术上，还是装备上都达到世界领先水平。本文一市政排水工程手掘式顶管施工基本概述为切入点，对市政排水工程手掘式顶管施工工艺流程进行了详尽和系统的分析，并针对市政排水工程手掘式顶管施工技术应用的影响因素，以及旧城区市政排水工程手掘式顶管施工的预处理技术进行了探索，旨在为后续市政排水的类似工程开展提供参考依据。

**关键词：**市政排水工程；手掘式；顶管技术；施工工艺

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.13.014

## 一、市政排水工程手掘式顶管施工基本概述

### （一）市政排水工程应用手掘式顶管施工的背景

当前我国现代化城市建设正在高速发展，一些城市新地块的市政基础设施建设以及旧城区的地下管线改造工作正在如火如荼的上演，在此背景下，市政排水工作也面临着各种各样的工程建设和工程改造。顶管技术是市政排水工程应用最为广泛的工艺技术，经过多年的应用经验积累，我国的顶管技术在施工工艺方面以及达到了世界先进水平，机械顶管的施工效率得到了大幅提升，但是面对一些地下管线复杂、缺乏系统性辅助处置或规模不大的市政排水工程时。人工手掘式顶管施工技术依然被广泛使用，其操作便捷、设备简单、施工成本低等特点具有极大的优势。

### （二）顶管施工的基本原理

顶管施工工艺是一种非开挖埋管的施工方法，其主要原理就是施工方延管道沿线设计工作井和接收井的方案，工作井内铺设坚固的后座，之后用油压千斤顶将预选选定和埋设的下水管道，沿着预设方案线路进行缓慢顶进，并通过压浆系统使管节周围形成泥浆套，下水管道在泥浆套中采取滑行顶进，最终将需要埋设的管道顶至接收井内。当前，顶管施工工艺主要有机械式和人工手掘式两种施工方法，手掘式施工工艺是市政排水工程解决地下管线条件复杂、缺乏系统性辅助处置或者规模不大等排水工程所常用的顶管施工方式<sup>[1]</sup>。

## 二、市政排水工程手掘式顶管施工工艺流程

当前我国市政排水工程采用手掘式顶管施工工艺流程的主要内容如下图所示：

### （一）管材的选定

市政排水工程在开展顶管施工过程中，必须要确保目标道路结构的绝对安全，不能够影响管道穿越地段的交通安全及地层结构，因此，市政排水工程在开展手掘式顶管施工之前必须依照目标道路的地层结构属性、排水组成结构、排水量需求等关键性指标，选取合适的管

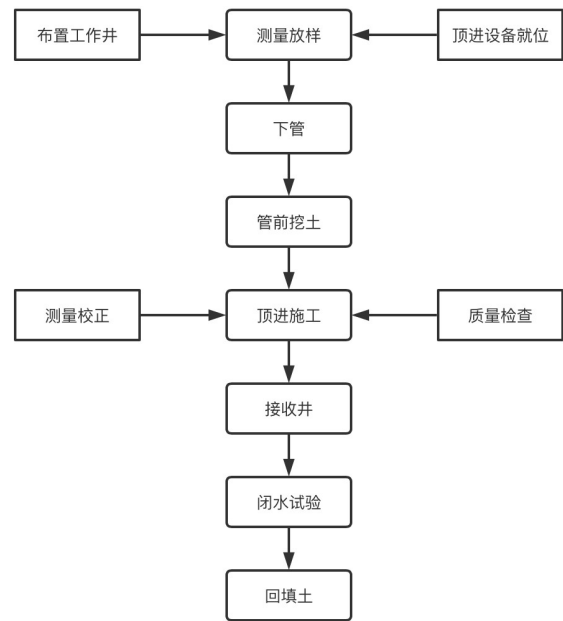


图1：市政排水工程手掘式顶管施工工艺流程示意图

材尺寸以及顶管设备。同时，市政排水工程设计单位还需要依照本工程的施工和使用条件，对管节采用的钢筋进行调整和校核，确保顶管施工过程中接口的密实性。

### （二）测量放线

依据市政排水工程规划设计要求，施工单位在施工现场地面利用经纬仪准确测定并放置管道铺设的中线控制桩，并利用混凝土对控制桩进行保护，直至工作坑挖掘施工完成之后，施工人员再利用经纬仪将预选放置好的管道中线控制桩引至工作坑当中，为了确保管道中线控制桩在后续施工使用过程的精准度，在工作坑中也需要对管道中线控制桩采取保护措施。

### （三）工作坑设置

#### 1. 开挖

市政排水工程施工单位需要依照管道线路方案以及现场实际情况进行合理的施工计算，进而选取最优的工作井开挖方式。当前手掘式顶管施工工作井土方开挖主要采用两种方式：第一种，直接开挖法，由工人利用小型挖掘装备直接对土方进行挖掘；第二种，水钻法，工人使用水磨钻对工作井内的岩层进行劈裂击碎处理，工人依照施工要求按布孔分区域进行，并人工持风镐进行修边。直接开挖法适用于地层松软且开挖深度偏浅的市政排水工程<sup>[2]</sup>；水钻法则主要应用于强度较高且风化程度较低的土质环境，一些工作井偏小的市政排水工程也适用于水钻法。

#### 2. 导轨安装

导轨安装时市政排水工程手掘式顶管施工作业的关键

关键环节,是为工作坑内管道出洞提供前期准备的重要基础设施。导轨的主要作用是在顶进过程中控制管道中心,使管道能够按照预先的设计要求沿着官位中心线和高程进行顶进操作。导轨净距的确定与管材外径大小具有直接关系,并需要通过科学合理的计算,导轨底部需要进行浇筑,以确保导轨中线位移或高程偏差均不大于 $\pm 3\text{mm}$ ,且其形成的纵坡应与管道设计坡度保持一致性。此外,基坑导轨安装还需要将导轨支排嵌固在工作井底部混凝土中,并将型钢与导轨焊牢,避免顶管顶进过程中导轨出现位移问题。

### 3. 后背墙施工

后背墙施工必须要满足承受管道在顶进过程中所能产生的最大顶力,确保管道在顶进过程中能够始终保持牢靠和稳固,施工设计方可依照市政排水工程的实际情况设计合理的施工方案,后背墙整体需与管道顶进方向保持垂直。

### 4. 混凝土浇筑

工作坑在进行人工挖刃脚土方之后,需要对基底进行人工夯实,并浇筑混凝土垫层,在井室立模之后,还需要进行混凝土的一次浇筑,待进行沉井下道工序时,对井壁需要进行二次混凝土浇筑,沉井下沉至底部指定位置之后,需要进行封底混凝土浇筑。通常情况下,混凝土浇筑主要采用软管法、串筒溜槽法以及料斗法三种方式。导管法施工效率较高且无须吊车配合,但需要在井边进行人工牵引导管,不适合工作井深度较大的市政排水工程,适用于3米以下的井壁混凝土浇筑;串筒溜槽法施工效率最高且人员投入较少,但该方法会随着深度的增加而影响便捷性;料斗法安全性较高且不受工作井深度的任何影响,但施工过程需要吊车全程配合,整体功效偏低<sup>[3]</sup>。

### 5. 沉井下沉

沉井下沉是工作坑设置这道工序的关键环节,通过沉井的重力作用,使沉井下沉至市政排水工程设计图纸中的制定标高位置,之后利用人工手掘式方法来挖土下沉,通常情况下,市政排水工程的管道井设计都会高于地下水水位,所以对基坑的降水处理可不不做要求,但一旦管道井标高低于该区域的地下水水位,在设计过程中就必须进行特殊处理。在沉井挖土过程中,施工方要以中心为圆点,逐步向四周进行挖掘,时刻保持对称均匀,每层的挖土厚度需最好控制在40cm左右,同时,施工方在修正扭曲或偏移的过程中,需秉承“多沉少挖”以及“少沉多挖”的作业原则,切忌不可一次性掏空,需要逐步扩大刃脚下的挖土,整个下沉工序全过程需要保持“勤测、勤纠、缓纠”的纠偏作业,当沉井下沉至距离图纸标高1m左右时,需要控制好下沉速度,在距离图纸标高30cm处,开挖作业便需要停止,并对沉井此时的下沉速度进行监测,人工掏土需要少量欠挖,直至沉井到达图纸要求的标高范围。

### 6. 沉井封底

在沉井下沉至市政排水工程的设计标高指定位置之后,施工人员首先需要对基地杂物进行全面清理,并静

待沉井自沉稳定8小时,在此时间范围内,沉井自沉累积不大于10mm时,施工人员就可以开展沉井封底工序。施工人员需要对基地进行人工夯实,并铺筑20cm厚的碎石垫层,垫层上部浇筑20cm厚C20素垫层混凝土,最后浇筑30cm厚C30钢筋混凝土底板混凝土,其中底板与井壁接触部位进行凿毛处理,保证新老混凝土接触良好。

### (四) 施工测量

施工测量是手掘式顶管施工确保管线线型能否实现平顺的关键性环节,且测量工作的准确度还会影响到顶管能否实现顺利贯通,因此,在施工测量过程中必须确保精细准确,以保障顶管顶进工序的顺利实施。施工测量在具体开展过程中需要注意以下两点内容:第一,管道的高程测量可将水准点引至井下,采用水准仪进行测量;第二,管道的轴线可采用标线仪配合全站仪的方法进行测量。

### (五) 管前挖土

市政排水工程在应用手掘式顶管施工技术过程中,管前挖土是确保管上建筑结构安全,保障顶管工艺质量的关键所在,因此,施工工人进行管前挖土必须遵循以下基本原则:第一,顶管地段若产生土质下沉现象,则管体周围一律不允许进行超挖;第二,常规顶管地段区域下 $135^\circ$ 的范围之内,不允许进行超挖;第三,人工手掘式进行管前挖土过程中,必须沿着小于或等于 $60^\circ$ 的挖突坡从上至下进行逐步挖掘。此外,管前挖土通常应在管内进行操作,掏土深度每次最好应为30cm,在土质松软或者容易塌方的顶管地段,管前挖土必须要做到随挖随顶。

### (六) 触变泥浆减阻

手掘式顶管施工在开展较长距离的管道顶进施工过程中,必须要从采用注浆工艺进行触变泥浆减阻,利用触变的泥浆套来减少管道在顶管过程中管壁与土体之间的摩擦力,并最大限度的填充流失的土体,以降低土体变形概率,同时还能够减少隔水和沉降现象。触变泥浆是由膨润土和水以1:8的比例进行搅拌而成,并存储在储浆箱中,在进行管道顶进作业时,施工人员通过注浆机输送至混凝土管注浆孔,进而注入土体形成了泥浆套。

### (七) 管道顶进及顶管进洞技术

作为手掘式顶管施工的一道重要工序,穿墙进洞的质量高低直接影响穿墙后掘进机方向的准确与否,给后续井内关节的拼装以及管道方向的控制带来巨大影响。因此,在顶管穿墙进洞时,施工人员必须要防止井外泥土塌入井内,可率先在工作井洞口处用砖砌出挡土墙,若顶管路段土质松软或者存在流沙,就必须对管体顶进方向工作井周边一定区域范围内进行加固或者改良处理。同时顶管进洞要保持顶进方向的高度准确性,避免管道偏离轴线。此外,在管道顶进前,施工人员需要将前三节管子与机头进行紧密连接,同时用拉杆将机头位置固定,进而避免下沉现象出现。

在管道顶进过程中,施工人员需要时刻调整土压平衡值,并将坡度控制在合理范围内,并以顶进速度作为分析参照,实时控制地层变形的数据信息。同时,施工

人员在顶进过程中采用触变泥浆减阻的过程中，除了需要注意泥浆调整搭配的比例问题以外，还需要注意使用压浆孔球阀对压浆的压力进行实时调控，确保顶进工作在稳定的环境下顺利完成。

## （八）纠偏

纠偏是手掘式顶管施工在管道顶进过程中常用的技术手段，如果管道在顶进过程中出现偏移现象，则需要采用适当的技术方法进行纠偏，通常情况下，当管道偏差在1cm-2cm范围之内时，施工人员可采用挖土法进行纠偏；当管道偏差大于2cm时，施工人员可以采用顶木法进行纠偏；当以上两种纠偏方法不能够取得良好效果时，施工人员也可以尝试使用顶镐法进行校正。此外，手掘式顶管施工在进行纠偏施工时还会使用到衬垫法、支顶法以及支托法等。

## （九）中继间

市政排水工程经常会面临长距离的顶管施工项目，一旦顶管工程的顶进长度超过了100米，则一次性顶管就很难完成任务，顶进阻力会超过容许的总顶力，以至于一次顶进施工无法达到方案设置的顶进距离。在这种条件下，手掘式顶管施工需要设立中继间，采用分段接力顶进的方式，中继间由前壳体、千斤顶和后壳体三个部分组成，前壳体与前接管进行连接，后壳体与后接管进行连接，前后壳体之间的连接采用承插式方式，依靠橡胶止水带进行密封连接。

## （十）顶管出洞技术

当工具管道顶管就位到指定地点后，施工人员打开接收井的穿墙挡板，并将穿墙挡板的砖砌体进行凿除，依照工具管道进洞方向安装控制导轨、密封装置以及密封圈。同时，施工人员需要将盾尾密封油脂涂抹在密封圈内两道钢丝刷中间，根据测量结果调整基座和扇形压板位置，然后将机头缓慢、均匀地推入穿墙挡板，为防止止水橡胶圈外翻，确保工具管刃脚距接收井墙壁有一定的距离，对工具管刃脚考虑一定的保护措施。

## 三、市政排水工程手掘式顶管施工技术应用影响因素分析

市政排水工程应用手掘式顶管施工技术进行作业时，施工作业方案的设计收到诸多方面的影响，最为主要的影响因素有三个，即：水文地质条件因素、管径大小因素以及顶进距离因素。

### （一）水文地质条件因素

地质情况是手掘式顶管施工最大的影响因素，不同的地质情况需要采用不同的施工方式。通常情况下，砂性土、黏土、砂岩、风化泥岩等地质情况比较适用手掘式顶管施工技术，人工手持风镐掘进的方式能够获得较好的工作效率，在一些强度较高或风化程度角度的地质情况下，手掘式顶管施工就需要应用水磨钻等机械设备进行辅助。

地下水或者地表水对手掘式顶管施工也具有较大影响，市政排水工程必须对管线路段的水文条件进行详尽调研，进而设计出科学合理的施工方案，确保施工过程不受防排水因素影响。通常情况下，施工开始之前要提

前做好周边水系调查，确保周边水系畅通，避免工作井因周边水系不畅而产生积水。同时，在地下水十分丰富的路段，施工开始之前必须要进行打井降水处理。

### （二）管径大小因素

在相同的水文地质条件下在相同的施工人员设备配置下，管径的大小直接影响了顶管工作的施工效率。以D1000和D1400两种管径为例，D1400管径的开挖断面面积是D1000的两倍，且管径过大的情况下，施工人员则无法站在地面对整个开挖断面进行一次性开挖，因此，市政排水工程在应用手掘式顶管施工技术时，要针对排水设计的需求，选择合适的管径，且针对不同管径的施工工程，设计不同的施工班次，以降低施工人员的疲劳度，提升整体的施工效率。

### （三）顶进距离因素

通常情况下，市政排水工程的管道检查井最大间距设置在120米范围以内，顶管顶进距离绝大多数情况下都不太长，因此，手掘式顶管施工很少设立中继间，且采用小车出土的方式也对市政排水工程施工效率产生不了明显的影响。

## 四、旧城区市政排水工程手掘式顶管施工的预处理技术

市政排水工程很多情况下是旧城区改造项目，面对的是旧城区十分复杂的地理环境，采用手掘式顶管施工时需要应用一些贴合旧城区特点的预处理技术。

### （一）旧城区市政排水工程常见的复杂环境

由于旧城区普遍进行过多年的管道植入或者各类管道维修，地质条件普遍属于不稳定土质结构，采用手掘式顶管施工技术极易发生流沙现象。同时，旧城区范围内建筑物密度较大，地下管道的专业管线十分复杂，管网腐蚀老化、跑冒滴漏的现象比比皆是，此外，旧城区管道管径普遍偏小，过水能力偏低，一旦管径选择不合理就会给管网的稳定性带来巨大影响。

### （二）手掘式顶管施工预处理应用的关键技术

当前，市政排水工程手掘式顶管施工经常使用的关键技术是工作井高压旋喷桩止水帷幕、超前小导管注浆加固技术以及气囊法堵水技术。工作井高压旋喷桩止水帷幕技术主要是对工作井周边进行加固的方式来有效规避流沙风险以及对周边建筑物带来的影响；超前小导管注浆加固技术可以有效规避顶管作业过程中出现的管道连接不严或管道破损问题；气囊法堵水技术可以有效解决老城区旧管道因破裂造成顶管开挖面透水，导致人工顶管无法继续掘进的难题。

## 参考文献

[1]潘锦荣.关于复杂环境条件下市政工程顶管施工技术研究[J].建材与装饰,2018(10).

[2]董冠群.谈复杂施工环境下顶管工程施工技术[J].山西建筑,2018,v.44(10):88-90.

[3]丁锡峰.顶管技术在市政给排水施工中的应用[J].工程技术研究,2019,4(23):62-63.

作者简介:施艳秋(1980.6-),女,吉林双辽人,高级工程师,本科,从事市政排水工程工作。