

# 城镇雨污分流非开挖工程中的工程勘察内容和要求

卢焱<sup>1</sup>, 邵本科<sup>2</sup>

(1. 廊坊市市政设施管理处, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**论述在城镇雨污分流工程中采用非开挖技术需要工程勘察的内容和要求。针对非开挖技术特点,与常规市政工程勘察的对比分析,得出采用非开挖技术施工所需要的工程勘察特性。结合廊坊市雨污分流非开挖试验段工程,分析了前期工程勘察对后期非开挖工程施工的影响,具体分析工程地质勘察和施工区域地下管线探测特殊性对非开挖工程设计、施工的意义。最后从雨污分流非开挖试验段工程结论出发,总结采用非开挖技术施工进行工程勘察的常规性内容,为以后类似工程采用非开挖技术施工提供参考。

**关键词:**雨污分流;非开挖技术;工程勘察

**中图分类号:**P634.7   **文献标识码:**A   **文章编号:**1672-7428(2009)06-0062-05

**Task and Requirement of Engineering Investigation of Trenchless Technology in Urban Diversion of Rain and Sewage/LU Yan<sup>1</sup>, SHAO Ben-ke<sup>2</sup>** (1. Langfang City Management Department of Municipal Facilities, Langfang Hebei 065000, China; 2. Engineering Faculty of China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** The paper discussed the requirement and significance of engineering investigation for the application of trenchless technology in the diversion of rain and sewage of urban drainage system. According to the analysis on comparison between specification of trenchless technology and routine municipal engineering investigation, engineering investigation characteristics of trenchless technology construction was learned. With the trial section project of the diversion of rain and sewage drainage system of Langfang city, analysis was made on the influence of earlier investigation upon late trenchless construction, and the importance to trenchless engineering design and construction by engineering geological investigation and underground pipe detection was clarified. In the end, the paper summed up the routine work of engineering investigation for trenchless technology construction to give the reference in the diversion of rain and sewage to more urban drainage systems.

**Key words:** distribution of rain and sewage; trenchless technology; engineering investigation

## 1 概述

伴随着城市的发展和基础设施建设的不断完善,众多的中小型城市都将面临完善城镇居民生活质量、改善居民生活条件的建设。城镇基础设施建设是目前国家所倡导的扩大内需的大的氛围下所需要进行的大规模工程建设。于是在全国中小型城市都面临着基础设施建设的机遇和挑战。为此,河北省廊坊市提出了十项利民基础建设的重大建设工程项目。其中廊坊市雨污分流工程便是其中最为重要的一项工程建设,本文基于廊坊市雨污分流非开挖试验段工程为基础,非开挖水平定向钻进试验段主体工程为和平路长710 m、 $\varnothing 450$  mm拉管试验段工程。对于采用水平定向钻进(HDD)施工方法进行工程勘察所需要涉及的内容及其工程意义进行论述。

试验段工程分布如图1所示。

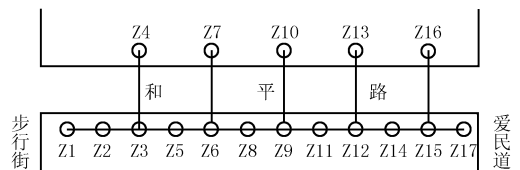


图1 试验段主要穿越工程分布图

### 1.1 非开挖技术的特点和优越性

非开挖技术作为一种新兴的市政管道工程施工技术,鉴于其具有的优越性和技术特点,在进行廊坊市雨污分流工程中具有举足轻重的工程意义。从大口径的主污水管网到用户连接的小口径的连接支管,采用非开挖技术(水平定向钻进和泥水平衡顶管)进行施工具有技术优势,并且综合多方面考虑也具有良好的经济优势<sup>[1]</sup>。

(1) 避免了传统开挖施工对居民正常生活的干扰和对交通、环境、周边建筑基础的破坏问题。

收稿日期:2009-04-23

**作者简介:**卢焱(1973-),女(满族),河北廊坊人,廊坊市市政设施管理处工程师,给排水专业,从事给排水管道工程设计施工及工程管理工作,河北省廊坊市新华路145号,zkfljw@163.com;邵本科(1984-),男(汉族),安徽绩溪人,中国地质大学(武汉)工程学院在读硕士研究生,地质工程专业,研究方向为非开挖工程,湖北省武汉市鲁磨路388号,bkshcug@qq.com。

(2)可在传统工法无法施工或不允许开挖的场合(如穿越河流、湖泊、重要交通干线、重要建筑物)完成管道安装。

(3)较好的经济效益和较大的社会效益。在可比性相同情况下,非开挖管线铺设、更换、修复的综合成本(直接成本+间接成本)均低于明挖法施工。管径越大、埋深越大、地层越硬时经济效益越明显。

(4)施工安全、工期快捷。在埋深较大和硬岩条件的情况下更为明显。

鉴于非开挖技术特点,在目前提倡基础设施建设的大氛围下,将在众多中小型城市的地下管网改造工程中起到重要作用。

### 1.2 非开挖技术在城镇雨污分流工程中的适用性

根据国家城乡建设部给出的数据,目前全国还没有污水处理厂、人口在30万以上城市的数量在上百个,并且在已有污水处理厂的城市中,也面临着设备改进或处理能力不能满足城市发展要求,需要进行污水处理厂扩建和改造。同时,在许多中西部城市还存在雨水污水共用管道的问题,这无论从地下水资源还是在污水处理成本方面都是巨大经济浪费,因此许多城市主管部门将雨污分流地下排水管网改造提上了政府工作的议程。从上面的分析可以看出目前存在巨大城市管网改造工程项目,但是在采取何种施工工艺等关键性问题上依然存在争论。

欧美及日本等非开挖技术发展良好的国家在进行城市化建设过程中,也面临着同样的问题,综合考虑之后普遍采用非开挖技术对城市地下管网进行改造。这主要由非开挖技术的特点及与其它市政工程施工工艺相比所具有的优越性所决定的。

目前国内采用非开挖技术进行雨污分流管网建设是以东南沿海城市为主,这主要还是受到经济发展的制约,因此城市污水处理率这个侧面也能体现出城市当前所处的经济状况和实力。

在采用非开挖技术进行管网改造需要对施工区域进行详细的工程勘察,但是鉴于非开挖技术特点,

目前对非开挖工程施工所进行的工程勘察还没有完全的规范和成熟,因此本文就采用非开挖技术施工所需工程勘察的要求进行说明。

## 2 工程勘察内容

非开挖技术是指在不开挖或少开挖地面实现地下管线(道)铺设、修复、在线更换等施工方法。对施工区域进行详细工程勘察是工程设计、工程概预算、施工和验收的主要参考内容。与其它岩土工程勘察不同的是,非开挖工程需要进行的工程勘察主要:包含岩土工程勘察和地下管线(道)探测。

### 2.1 岩土工程勘察

进行地下工程施工,对施工区域的地层属性和整体地质构造要有全面详实的了解。城市管线工程勘察一般进行一次详勘,勘察前需要收集的主要资料以及现场踏勘的主要工作包括<sup>[2]</sup>:(1)已有的各种地下管线图;(2)各种管线的设计图、施工图、竣工图及技术说明资料;(3)相应比例尺的地形图;(4)测区及其临近测量点的坐标和高程;(5)管线类型、基底高程、管径、输送方式、设计示意图和可能采取的施工方案以及地下埋设物的分布情况等;(6)现场会踏勘核查的资料,评价已有资料的可信度和可利用度;(7)察看测区的地物、地貌、交通和地下管线分布出露情况、地球物理条件及各种可能的干扰因素;(8)核查测区中测量控制点的位置和保存情况。

前期准备工作和资料收集是接下来开展工程勘察的基础和前提。城市管线工程勘察要求查明沿线各地段的地质、地貌、地质结构特征、各类岩层、土层的性质及其空间分布,对管线地基进行工程地质评价,为地基基础和穿越工程设计、地基处理与加固、不良地质现象的防治、施工开挖和排水设计等提供工程地质依据和必要的设计参数,并对可能出现的岩土工程问题提出治理措施和建议。廊坊市雨污分流非开挖试验段工程现场工程地质情况如表1所示。

表1 非开挖试验段工程区域地层属性分布情况

地层编号	地层名称	地层描述	地基土承载力特征值 $f_{ak}$ /kPa
①	杂填土	主要为柏油路面、水泥路面,含石块、砖渣等	
① <sub>1</sub>	素填土	以粉土、粉质粘土为主,含砖渣、石子、灰渣等,局部夹砂和杂填土	
②	粉土	黄色,稍湿-湿,稍密-中密,摇振反应迅速,干强度和韧性低,夹粉质粘土薄层	110
② <sub>1</sub>	粘土	黄色,可塑,中-高压缩性,断面光滑,干强度和韧性高,夹薄层粉土	90
③	粘土	灰色,可塑,中-高压缩性,断面光滑,干强度和韧性高,局部夹淤泥质土	90
④	细砂	黄色,饱和,密实,主要由长石、石英等组成,上部夹粉土、粉砂薄层	200
④ <sub>1</sub>	粉土	黄-灰色,湿,密实,摇振反应迅速,干强度和韧性低,夹粉质粘土薄层	140
④ <sub>2</sub>	粉砂	黄-灰色,饱和,中密,主要由长石、石英等组成,夹粉质粘土薄层	160

管线勘察岩土试验项目按《市政工程勘察规范》(CJJ 56-94)有关规定执行,如表2所示<sup>[3]</sup>。

表2 城市地下管线勘察试验项目

项目与内容	试验结果应用
物理性质、抗剪强度试验	非开挖施工设计、辅助坑槽开挖和坑槽壁支护
物理性质、压缩性试验	管线地基土承载力与变形
室内外渗透试验、抽水试验	辅助坑槽排水、降水
颗粒分析	河床冲刷计算、土类定名
水、土化学分析,含盐量分析,电阻率测定	管线腐蚀性判定

和平路非开挖试验段穿越地层分布如图2所示。

穿越区域地层分布情况及其地层属性是进行非开挖铺管施工承载力设计和施工方案设计的重要依据,对于在地下水位以下进行施工时,需要根据地层值,通过这些基本数据确定管道回拉最大拉力,并选定设备的类型。对于诸如流砂等特殊性地层需要进行泥浆配合比设计,避免钻导向孔、施工过程中出现塌孔等工程事故。

根据勘察资料所得各地层渗透性系数情况如表3。

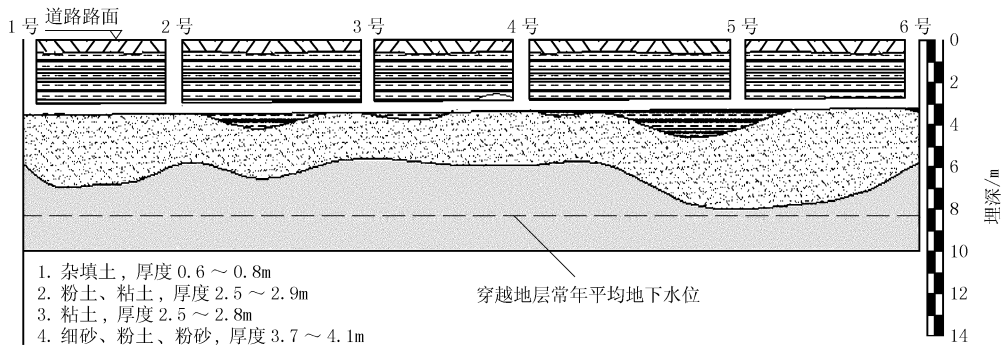


图2 和平路段非开挖施工穿越地层分布图

表3 施工区域地层渗水系数

地层编号	岩土名称	$K/(m \cdot d^{-1})$	透水性
②	粉土	0.5	弱透水性
② <sub>1</sub>	粘土	0.005	微透水性
② <sub>2</sub>	粉砂	5	强透水性
③	粘土	0.005	微透水性
④	细砂	3	强透水性
④ <sub>1</sub>	粉土	0.3	弱透水性
④ <sub>3</sub>	粉质粘土	0.001	微透水性

根据勘察资料确定管道穿越地层承载力,验算竣工管道在满负载运行情况下是否会超过管道基础透水性实验进行降水设计。其次地层的内摩擦角、粘聚力和地下水位是进行非开挖选型的计算参考的承载力,如果不能满足要求,则需要在管道敷设完成之后在管道外壁和钻孔壁之间进行注浆,以确保管道运行能满足管道标高的要求。

## 2.2 施工区域地下管线探测

非开挖施工现场探测的任务是查清各种地下管线的铺设情况,在地面上的投影位置和深度,并在地面设置管线点的坐标,以便测量管线点的坐标和高度,或进行地下管线图的编绘。管线调查应查明其种类、材质、载体、特征、附属物、管径或管线断面尺寸、埋深、电缆根数、埋设年代、权属单位、连接方向、电压值(或压力值)等属性<sup>[4]</sup>。

地下管线(道)的勘测主要分为两部分工作:关于已有管道的资料查询;现场已有管道标定并进行区域性探测。在市政地下管理部门对已有管道(线)都有相关性的资料记录,因此在进行施工场地勘察时,需要从管道(线)管理部门查阅相关性。得到施工区域地下管线(道)分布图。

测得施工现场地下管线(道)数据之后,对施工区域进行区域性探测,目的是探测因为不规范施工而未查明的地下管道(线)。通常对于绝缘管道(包含聚合物管、素混凝土管、陶土管等绝缘管道)和导电管道采用不同的管线探测设备进行探测,目前对于非金属管道的探测存在着一定的技术难度,尤其是深度>5m的地下管线,需要采用地质雷达等设备进行确定性探测,以确保后继工程的顺利施工。

## 3 基于工程勘察进行非开挖工程的设计

在工程勘察所得的工程地质资料和地下管线铺设情况的基础上,进行非开挖工程钻孔轨迹设计、回拉力计算、泥浆配合比设计、管道受力分析验算。

### 3.1 钻孔轨迹设计

在进行钻孔轨迹设计时需考虑地层的承载力、地层含水量、钻杆曲率半径、铺设管道曲率半径(或坡度要求)等各方面因素。工程为污水管道试验段,铺设管道曲率半径可以不做考虑,鉴于钻杆曲率

半径较大,所以设置“找平段”,以实现在目标段中近水平钻进,满足污水管道坡度在0.8%误差控制在±0.2%范围之内。钻孔轨迹设计如图3所示。

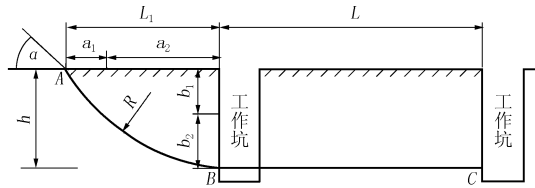


图3 钻孔轨迹设计原理图

### 3.2 回拉力计算

在进行回拖力计算时,采用比较保守的方法进行预测,允许在管道回拉过程中回拖力的变化。选择回拖力计算公式是 Larry Slavin 博士推导的适用于 Mini-HDD 系统回拖力计算的简便方法。这种方法只适用于 HDPE 管或 MDPE 管道。因为这两种管材都具有良好的弯曲性能。回拖力按下式计算:

$$T_A \approx L_{bore} \left( \frac{\pi D^2}{4} \gamma_b - w_a \right) \left( \frac{1}{3} \right) \quad (1)$$

式中: $T_A$ ——入土点 A 所受的回拖力, N;  $L_{bore}$ ——钻孔轨迹的长度, m;  $\gamma_b$ ——泥浆重度,  $N/m^3$ ;  $D$ ——管道外径, m;  $w_a$ ——每米空管道的重力, N/m。

根据设计钻孔轨迹长度等参数和对应属性参数,计算得到  $T_A = 166.8$  kN,根据钻机性能参数选择要求,按最大回拖力 1.5 倍计算,选择 28 t 钻机。

根据选定的钻机选择钻杆、泥浆搅拌循环系统、导向系统、供电供水系统等。

对于理论计算的管道铺设阻力的大小直接关系到工程的成败。要从减少阻力的内在因素着手,根据地层属性参数以及钻孔轨迹的设计,减少铺设管道阻力的方法主要包括:(1)提高成孔的质量,主要是孔壁的稳定性;(2)减少弯曲段的数量和弯曲强度;(3)采用弯曲性能较好的管材;(4)采用润滑泥浆或涂覆润滑剂;(5)增大扩孔系数;(6)采用特殊辅助器具等。

### 3.3 泥浆配合比设计

对钻孔轨迹进行设计完成后,根据勘察报告和地下管线探测报告,对钻进过程中使用的泥浆性能参数的要求以及钻井液的配合比设计做出具体的试验判定和配合比优化。表 4 是在非开挖拉管中常见地层中所使用泥浆的配合比设计情况。

根据穿越地层属性,在导向孔及回扩过程中经过交叉地层时需要及时对泥浆属性做出调整。尤其是在砂性土层中回扩时需要加大泥浆的密度和降低失水量,使之能有效实现护壁润滑的功效,防止钻孔坍塌。在本次试验段施工中遇到交叉地层,对泥浆性能属性的准确调整确保了工程的安全施工。

### 3.4 管道受力分析验算

管道回拉过程中受力分析如图 4 所示。

表 4 常见地层钻进使用泥浆配合比设计

地层名称	地层特性	泥浆要求及类型	配合比设计
粉砂层、砂砾层、砂层	钻进时成孔难度较大,颗粒之间缺乏胶结,很容易塌孔	泥浆解决井壁颗粒间的胶结力;提高泥浆粘度;通常采用高分散泥浆	钠羧甲基纤维素泥浆 优质造浆粘土 150~200 g,水 1000 mL,纯碱 5~10 g,Na-CMC 6 g 左右。 泥浆性能:密度 1.07~1.1 kg/L,粘度 25~35 s,失水量 < 12 mL/30 min,pH 值为 9
		铁铬盐泥浆	粘土 200 g,水 1000 mL,纯碱浓度 50%,加量约为 20%,铁铬盐溶液浓度 20%,加量约为 0.5%,Na-CMC 0.1%。 泥浆性能:密度 1.10 kg/L,粘度 25 s,失水量 12 mL/30 min,pH 值为 9
粘土层或泥岩	地层遇水膨胀、缩径,甚至流散、塌孔,即为水敏性地层	尽量减少钻井液对地层的渗水,降低泥浆的失水量,抑制分散是最为关键的问题	钙处理泥浆 以最为常用的石膏-铁铬盐泥浆为例,石膏加量一般为泥浆体积的 1.14%~1.7%,铁铬盐加量为 0.86%~1.7%,烧碱为 0.28%~0.42%,可再加 0.14%~0.42% CMC。典型泥浆性能参数为:密度 1.20 kg/L,漏斗粘度 25 s,动切力 3.0 Pa,失水量 3~6 mL/30 min,pH 值为 10 左右
		钾基泥浆	粘土加量按在泥浆体积中的 3%~5%,分子量在 $300 \times 10^4$ 以上,30%水解度的 PAM 加量为 1.43~3.58 kg/m <sup>3</sup> ,KCl 加量为 3%~15%,可再加入 5%左右的 $(NH_4)_2SO_4$

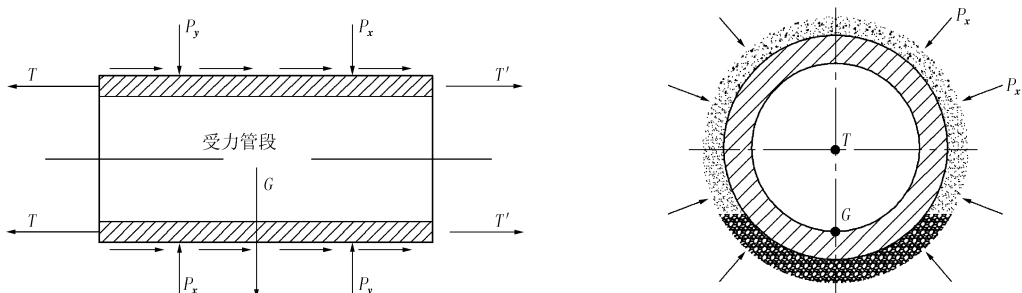


图 4 管段受力分析

通常认为管道在回拉过程中属于匀速前进,因此根据力平衡原理得到管道回拉过程中所受的总摩阻力按照公式(2)和公式(3)推导所得<sup>[5]</sup>:

$$\sum F = f(P_y + P_x + G) \quad (2)$$

$$T = T' + \sum F \quad (3)$$

式中: $P_y$ ——由垂直土压力施加管壁的法向力; $P_x$ ——由水平土压力施加管壁的法向力; $G$ ——管节自重; $f$ ——管壁与土间的摩擦系数; $F$ ——摩阻力; $T$ ——回拖力; $T'$ ——前一节管道的反作用阻力。

由于管道在回拖过程中存在循环泥浆的作用,加上管道为中空状态,因此管道还受到地层浮力及泥浆润滑作用,管道在回拖过程中所受的摩阻力也会减小。需要考虑终孔直径与管道外径的匹配性,需要根据不同地层而定。

根据勘察资料和地层属性参数,本次试验段确定终孔直径:管道外径=1.2:1,从施工过程中获得的数据分析,以及管道施工完成后的沉降和标高误差中可以看出,这个比值偏大。理论建议比值为1.2~1.5之间,在理想地层中能够取到1.1比较好,因为系数过大对污水管道沉降影响还是很大的。

管道外壁和钻孔间存在环状间隙并由循环泥浆填充,但是在施工完成之后,循环泥浆的沉淀以及上部地层的微小沉降都将影响管道标高的变化,所以需要管道所承载的基础进行应力验算,以确保管道下部基础能够承受管道在将来满负载运行情况下的承载力。倘若验算所得结果不能满足管道要求,需要对环状间隙进行注浆处理。在进行注浆处理过程中需要考虑管道生产商所提供的管道的属性参数以及地层的渗透系数等,以便达到最佳的注浆效果。

#### 4 结合廊坊市雨污分流非开挖试验段工程分析工程勘察的要求

雨污分流非开挖试验段工程历经3个月(期间由于奥运会停工1个月),从工程踏勘、初勘到详勘,整个过程对施工区域地下地质条件和地下管线分布情况都详实准确的把握。这个所谓的前期工程对整个试验段起着至关重要的作用。针对非开挖工程场地现场勘察特殊性要求如下:

(1)根据现场情况确定最为理想的穿越地层,例如在粉质粘土或者粘土地层中穿越;

(2)通过室内土工试验确定穿越地层的属性,包含粘聚力、内摩擦角、渗透系数和容重等基本参数;

(3)绘制详尽地下管线分布图并在现场进行准

确规范标记,便于在后期工程施工中对已有管道的避让;

(4)在新铺设管道深度在地下水位以下需要进行降水设计,并且对工作井需要安装适当的支护措施,确保工程安全施工。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

通过前面的分析,对非开挖工程在城镇雨污分流工程应用的情况有了具体的了解,同时对非开挖现场工程勘察对工程施工的重要性也有了直接的认识。通过本次试验段的非开挖工程的施工,可以得出以下几点结论:

(1)针对非开挖市政管网改造工程需要进行详实的工程地质勘查和地下管线勘察;

(2)根据所铺设管道的埋深等因素需要对地层属性通过土工试验确定属性参数,便于确定对应的设计和施工方案;

(3)根据现场勘查信息确定的最优化的设计施工方案,为降低工程造价并缩短工期提供了理论依据。

### 5.2 建议

同时在试验段过程中也出现了一些问题,在此对类似于廊坊市非开挖工程的施工提出几点建议:

(1)对于非开挖工程的特殊性,需要及时调整勘察方式以及资料准确性,更好的为工程设计、施工服务;

(2)在埋深较浅(小于2.5 m)的管道需要监测地表的沉降以及施工过程对路面的影响;

(3)对于埋深较深(大于5 m)的管道铺设过程中需要进行降水设计和泥浆配合比针对性设计,确保工程的正常进行;

(4)对于污水主管道的检查井设置距离问题上需要考虑:工程施工能力以及周围对检查井的需要而定,原则上在清污距离范围内最大化设置检查井间距,从工程造价以及对城市交通影响、路面破坏等方面都是巨大的缩减。

## 参考文献:

- [1] 马保松,等.非开挖工程学[M].北京:人民交通出版社,2008.
- [2] CJJ 56-94,市政工程勘察规范[S].
- [3] CJJ 61-2003,城市地下管线探测技术规范[S].
- [4] GB 5026897,给排水管道工程施工及验收规范[S].
- [5] 乌效鸣,胡郁乐,等.导向钻进与非开挖铺管技术[M].武汉:中国地质大学出版社,2004.