

市政道路管道结构设计要点探讨

罗志机

中国市政工程中南设计研究总院有限公司

摘要:在城市基础设施建设过程中,离不开排水管道的建设,建设时为确保工程建设质量,前期需要做好排水管网规划设计工作,这也是市政工程设计当中重要课题。本文结合某城市道路工程为例,针对道路排水管道改造项目的建设规划要点进行详细地分析,并提出了最优化的规划设计方案,为今后城市道路工程设计提供参考。

关键词:市政道路;排水管道;微型顶管;检查井

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.15.109

城市水污染防治和城市排涝工程作为城市基础建设中重要的内容,在现代化城市发展过程中发挥着重要的作用。通过此工程来及时收集城市生活污水帮工业废水,并加以利用。其中,排水管道建设显得极其重要,不仅可以将城区污水和雨水及时排除,减少城市污水之害和避免积水成灾,为城市居民提供一个舒适安全的生活环境,维护生态平衡,推动城市可持续发展。以排水管道改造工程设计为例,就市政道路排水工程管道结构设计要点进行了深入地探讨。

一、工程概况

本工程为现状道路工程排水管道改造工程,其结构设计主要内容包括,开挖埋管长度约1.2km,顶管长度:1.51 km,采用微型顶管法施工。工作井(圆形):D4.0m,最大深度8.40m;接收井(圆形):D3.0m,最大深度8.40m。

本工程抗震设防烈度7度,使用年限为50年。本工程(建)构筑物结构安全等级为二级。

二、管道结构设计

市政排水管道结构设计内容一般包括:管道结构强度及稳定性计算、管道明挖施工基坑设计、暗埋施工方式(顶管)设计、管道基础及地基处理方式、检查井等附属构筑物结构设计等。

(一)管道结构计算

对于敷设在地下柔性管道,管顶的覆土荷载导致管环的竖向变形,这取决于管道的环刚度以及管道两侧土的弹性抗力,即管顶荷载由管土共同作用。因此环刚度是柔性管材的主要强度指标,环刚度 S_R 表达式为:

$$S_R = \frac{EI}{(1-\nu^2)D_0^3}$$

上式中,E和I分别为管材弹性模量和管道惯性矩; ν 为管材泊松比; D_0 为计算管径。

对于本工程采用的塑料管材属于柔性管道,根据《埋地塑料排水管道工程技术规程》(CJJ143-2010)版的管道结构计算内容主要包含管道变形验算、环向稳

定性计算,本工程所选的管材及环刚度能满足规范的要求。

对于本工程顶管工程顶管部分管材采用钢筋混凝土管道,除了验算环刚度,还需要考虑管道顶力满足管道承载力,计算表达式如下:

$$F_{dc} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd} \phi_5} f_c A_p$$

上式中, F_{dc} 为管道允许顶力; ϕ_1 为混凝土强度系数,一般取0.90; ϕ_2 为强度提高系数,一般取1.05; ϕ_3 为材料脆性系数,一般取0.85; ϕ_5 为强度调整系数,取0.79; f_c 为混凝土强度设计值; A_p 为管道传力面积; γ_{Qd} 为顶力分项系数,一般取1.3。

经验算,处于淤泥层的微型顶管距离60米可满足管道允许顶力要求。

(二)明挖管道基坑设计

对于埋藏深度相对较浅且地面具有开挖条件(非主干道下)的管道,沟槽开挖作业方便,且施工速度快,推荐采用明挖法埋管,现就挖槽方式进行方案分板比较,见下表:

表1 放坡开挖与垂直开挖方案比较表

项目	方案一	方案二
名称	放坡开挖	钢板桩支护开挖
技术参数	基坑深度小于3.0m,坡率1:1.25。坑底30cm级配碎石砂垫层找平。	基坑深小于5.0m,拉森III型钢板桩加内支撑支护,垂直开挖。坑底采用级配碎石砂垫层基础。
优点	1、施工设备简单,易操作 2、技术难度低。	1、土方开挖及回填土量相对较小; 2、土方运输及堆放要求较低; 3、对现有道路破除范围较小; 4、对相邻管线起到保护效果,保证其正常运行。
缺点	1、回填量大 2、运输困难 3、对现有道路破除范围较大 4、破坏相邻管线 3、需要降水处理	1、施工设备及技术相对较复杂; 2、设备费用相对较高。

通过以上开挖方案比较与分析,本工程部分管段敷设于非主干道下,具有开挖条件,当管道埋深较浅且没有临近现状管线时,优先采用放坡开挖施工方案,当管道埋深较深且临近现状管线时,考虑采用钢板桩支护开挖方案,可确保管槽基坑稳定以及相邻管线正常运行。

(三)顶管设计

在地下管道施工过程中，顶管施工作为非开挖施工中的一种方法，无需开挖面层，且能够穿越地下管线、公路、铁道及建筑物等。并且，在开挖时，仅需设置工作坑和接收坑，大大减少了土方开挖量，且对交通影响较小。另外，顶管施工中埋管周期短，经济性明显。

(1) 顶管工艺

目前顶管施工中最为常见的三种平衡理论是气压平衡、泥水平衡和土压平衡理论，从目前发展趋势来看，土压平衡、泥水平衡理论的应用已越来越广。

表2 顶管方法适应情况

顶管方法	适应情况
挤压式或网格格式顶管法	软土层且无障碍物的条件下，管顶以上土层较厚
土压平衡顶管法	黏性土层中必须控制地面隆陷
加泥式土压平衡或泥水平衡顶管法	粉砂土层且需要控制地面隆陷
一次顶进的挤密土层顶管法	顶进长度较短、管径小的金属管

1) 掘进式顶管工艺

掘进式顶管施工原理如下：首先，在工作坑布置主油缸，在主油缸导轨放置好管道，并在管道上安装工具管。在顶进作业时，应将工具管道压入土体，再在工具管内挖土，再将土方运出，接着回油顶进，再回油顶进，这样不断循环施工，直到完工。

此工艺的适用范围包括无地下水的细砂、粉砂、粗砂、砂制粉土、粉质粘土。适用短距离顶管。

2) 土压平衡式顶管工艺

土压平衡式顶管施工原理如下：先利用工具管进行顶进，转动刀盘，转削开挖面的泥土，再将它转入搅拌舱进行搅拌，从而形成软质土。再利用螺旋输送机将它从搅拌舱排出，并输送至管外。此工艺在中、长距离顶管施工中应用较多。

关键技术：土压平衡控制技术；触变泥浆的配制和注入以及对各种地层的适应性；顶进方向的测量控制。

3) 泥水平衡式顶管工艺

泥水平衡式顶管工艺原理如下：采用工具管进行推进，利用进泥管供泥，同时在泥水舱采用排泥管将泥水排出。确保泥水舱压力足够，在有泥水压力下采用刀盘进行钻进。保证挖掘面的稳定性，将泥浆注入泥水舱，利用泥浆压力向土体开挖面渗透，进而形成泥浆护壁。当泥水平衡顶管施工完毕以后，再采用水泥砂浆和浆液置换泥浆进行泥浆置换，保证其固结或稳定性，以防超挖、塌落现象的发生。

泥水平衡式顶管是一种新型全断面钻削式掘进机顶管技术，其优点如下：①适用土质比较广，最适用渗透系数小于10-3cm/s砂性土。②地面沉降较小，挖掘面稳定，土层损失小。③施工速度快，弃土采用管道运输，可以连续出土。

(2) 顶管工艺选择

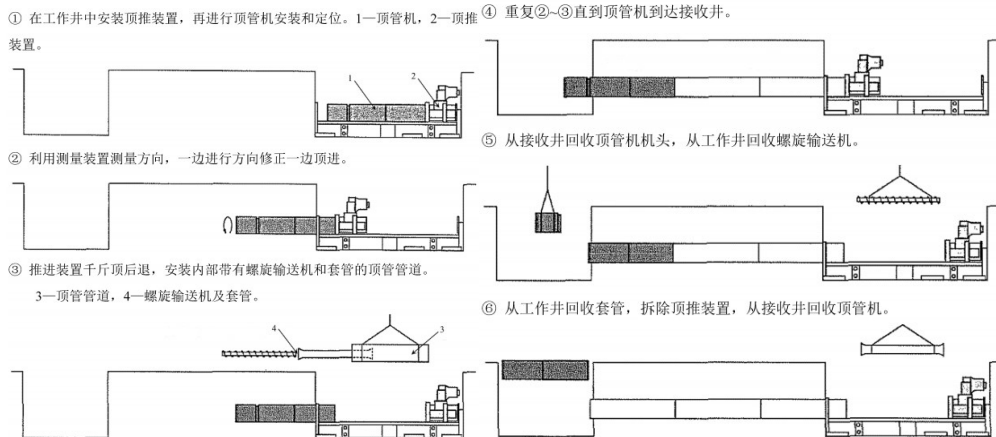
确定顶进方法，除决定于管材、管径、覆土深度、管道用途外，土质和地下水是确定顶进方法的决定因素。此外还应考虑施工环境、技术能力、施工设备等。

上述三种顶管施工方法中，人工顶管施工方法设备简单、成本低，一般适合大、中口径，不能带水作业，必须降水，而且操作环境很危险，不宜在东莞这种地下水位高的地区采用，必须采用机械顶管工法，即土压平衡顶管法或泥水平衡顶管法。

土压平衡顶管法较泥水平衡顶管法的最大不同就是排出的土一般不需进行二次处理即可装运，适宜大、中口径。由于土压平衡顶管不适宜在地质条件较差、地下水丰富的环境下作业；而泥水平衡顶管法顶力小、顶距长、速度快，适合于本工程。

(3) 微型顶管施工

目前，在珠三角地区部分城市排水管网顶管施工中已出现了微型顶管施工工艺。微型顶管施工的优点：此工法在管网施工应用较多，具有较高的精度，且施工速度较快。施工面小，有利于减少既有道路破坏，且能够降低交通的影响；另外，还具有排泥量少，环境影响小，施工机械化，安全程度高；施工精度非常高，技术



微型顶管施工流程示意图

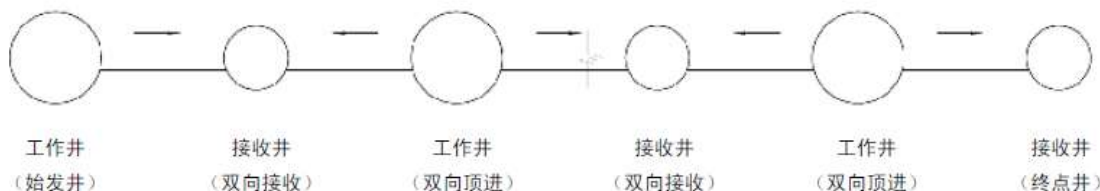
先进，施工速度快等优点。

泥水平衡微型顶管是近年开始涌现出的一种施工方法，该施工工艺与普通泥水平衡顶管施工一致，顶管的管径范围为DN400-DN600，普通泥水平衡顶管的管径范围不小于DN800。由于小口径泥水平衡顶管工作井、接收井的尺寸较小，一般为Φ4000mm及Φ3000mm，相较普通泥水平衡顶管工作井、接收井小了许多，有效缓解了排水管道建设施工空间受限制，施工工艺难以选择的困境，对排水管道阶段的建设具有十分重要的作用。以下

为微型顶管施工流程示意图。

考虑本工程实际管径为DN400~DN600，且主管基本现状主干路下，施工时需尽可能降低对交通的影响，泥水平衡微型顶管适合本工程的实际情况。故本次设计中选用泥水平衡微型顶管施工，顶管管径为DN400~DN600，顶距按照不超过60m控制设计。

顶管井的布置形式如下，两个管段之间设置一个中间井，中间井做成工作井、接收井，也可以用作向两头顶进的工作井，或用作双方向的接收井，如下图所示。



工作井及接收井布置示意图

(四) 管道基础及地基处理方法

(1) 在一般土质施工时，可采用土弧基础。必须保证土弧与管接节相贴合，在管底地基或夯实地基上铺设一层中粗砂层，其厚度300mm；

(2) 在软土地基施工时，如果地基承载力不满足

设计要求，就会扰动地基原状土，进而影响到地基承载力，故应进行地基加固，以提升地基承载力。

在软土地基中铺设管道，其地基处理方法多根据附加荷载的大小满足沉降变形的需要来选择，一般有换填法和复合地基处理法，比较方案详下表：

表 3 换填法和复合地基法方案比较

项目名称	方案一换填法	方案二复合地基法
优点	1、施工方便，技术简单，易操作。	1、处理后便于基坑开挖，减少挖、填土方。 2、处理效果好，变形少。 3、处理后改善土壤性能，减少支护部分的费用。
缺点	1、加大基坑开挖深度，特别是软土中造成基坑开挖难度增加。 2、附加荷载较大时，处理深度大，工程量也很大。	工期相对较长。

从以上方案的分析比较中可以看出换填法适用于处理浅层软弱地基，包括淤泥、杂填土和素填土，处理深度通常控制在2.0m内比较经济。

在水泥搅拌桩复合地基施工时，主要是对淤泥质土、粉土、素填土、饱和松散沙土等地基进行处理，深度一般可达6~15m，水泥搅拌桩桩径D500，桩间距按1.2m布置，桩顶铺300mm中粗砂兼作管道垫层。

本工程埋管部分基本位于现状道路下方，无附加荷载，且管道埋深相对较浅且位于素填土中，采用换填法即可满足承载力要求，若基底存在淤泥则采用水泥搅拌桩地基处理。

(五) 检查井设计

排水管管径在 d400~600mm时，选用Φ1000圆形钢筋混凝土排水检查井，当检查井为四通井时，需增大检查井尺寸，选用Φ1500圆形钢筋混凝土排水检查井。

在检查井盖时，为防止行人坠落事件，就在检查井上安装防坠落装置。在防坠落装置安装时，应确保承重力大于100kg，以提升过水能力，防止防坠落装置被暴

雨冲走。目前来说，检查井防坠落装置主要有防坠落井箅和防坠落网。

三、结语

市政管道工程作为城市基础设施建设过程的重要环节，如何做好道路排水管网规划设计工作显得极其重要。因此，在市政道路排水管道规划设计以及施工过程中，我们应结合工程特点及实际情况，采用合理的设计方案以及运用合适的经济、高效的施工方法，从而降低在整个项目周期内对周边环境的影响，保证工程质量，保障城市发展，以便推动我国社会经济的可持续发展。

参考文献

[1] 《室外排水设计规范》GB50014-2021.
 [2] 刘胤，谭洪强. 市政排水工程规划与设计研究[J]. 交通标准化, 2020(11).
 [3] 曹霞，罗旖旎. 浅析城市快速发展新形势下的市政道路与排水设计[J]. 城市道桥与防洪, 2019(2).
 [4] 《给水排水工程微型顶管技术规程》T/CECS 1113-2022.