

# 微型顶管在复杂地质条件中应用设计实践研究

文 / 袁道宏 合肥市市政设计研究总院有限公司

**摘要:** 以芜湖市长江中路下穿工程为例, 简单阐述给水排水工程微型顶管技术规程<sup>[1]</sup> 微型顶管技术作为一种非开挖施工技术, 在复杂地质条件下的应用。通过采用定向钻探明土岩结合面位置, 软土加固, 采用岩石顶管机, 钢筋混凝土倒挂井等措施。解决了岩石顶进、地面沉降控制等技术难点, 验证了该技术在城市密集区地下管网施工中的高效性与安全性, 为类似工程提供实践依据。

**关键词:** 微型顶管技术; 非开挖施工; 复杂地质条件; 松软土层; 岩层; 施工效率

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.108

## 引言

随着城市化进程的不断加快, 市政基础设施建设的需求也迅速增加。地下管线作为城市基础设施的重要组成部分, 其建设和维护对城市的正常运行至关重要。然而, 传统的开挖施工方法在密集的城市环境中往往面临空间限制、交通干扰以及环境影响等问题。尤其是在复杂地质条件下, 如穿越河流、铁路或已建市政管网时, 传统方法不仅成本高昂, 且施工难度大。为了应对这些挑战, 给水排水工程顶管技术规程<sup>[2]</sup> 非开挖施工技术逐渐受到关注和应用, 其中给水排水工程微型顶管技术规程<sup>[1]</sup> 微型顶管技术因其独特的优势成为解决这些问题的有效手段之一。

## 一、工程概况

芜湖市长江中路下穿工程。本次设计迁改下穿段 d500 污水管, 从道路西侧绕行, 埋深约 9-10m, 采用顶管施工。结合用地及埋深情况, 现状在密集的城市环境中往往面临空间限制、交通干扰以及环境影响等问题。新建市政管网, 采用传统开挖支护难度较大, 社会影响较大, 综合考虑采用给水排水工程微型顶管技术规程<sup>[1]</sup> 微型顶管工艺施工。

## 二、地层信息

根据本次外业钻探揭露以及原位测试资料, 并结合室内土工试验定名, 拟建场地内地基岩土构成层序自上而下为:

①层杂填土 (Qm1) —— 杂色, 松散, 干~湿, 以粘性土为主, 含大量碎砖、块石硬质物, 局部为原建筑物

基础、块石垫层。其中现状长江中路路面自上而下为:

10cm 厚沥青, 45cm 厚混凝土路面, 25cm 厚水稳层, 其下为路基填筑土, 一般较密实。其他区域填土回填时间跨度较大, 局部未完成自重固结。该层在整个场地均有分布, 此层土属于高压缩性土。

第②层粉质粘土 (Q4al+pl) —— 灰黄色、黄褐色, 湿, 软可塑状态, 含少量铁锰质及高岭土, 切面较光滑, 无摇晃反应, 干强度及韧性偏低。

第③层粉土夹淤泥质粉质粘土 (Q4al+pl) —— 灰色, 湿-很湿, 松散-稍密, 局部中密, 软-流塑, 主要以粉土和淤泥质粉质粘土为主, 含星点状云母和少量腐植质, 切面粗糙, 中等摇晃反应, 干强度及韧性低。

第④层粉质粘土 (Q4al+pl) —— 灰黄色、黄褐色, 湿, 硬可塑, 局部可塑, 含少量铁锰质及高岭土, 切面光滑, 无摇晃反应, 干强度及韧性高。

第⑤-1 层全风化安山质凝灰岩 —— 黄褐色、灰色、黄绿色、褐色, 密实, 干燥, 岩石风化成土状, 干强度高, 韧性低, 含少量强风化碎块。

第⑤-2 层强风化安山质凝灰岩 —— 黄褐色、灰黄色、褐色, 湿, 裂隙发育, 蚀变强烈, 主要为褐铁矿化、高岭土化, 岩芯呈碎块状, 不均匀夹有中风化岩碎块。

第⑤-3 层中风化安山质凝灰岩 —— 黄绿色、灰绿色、灰色、褐色, 湿, 凝灰及角砾状结构, 块状构造, 岩石裂隙较发育, 沿裂隙多充填有铁质, 局部含铁量高, 为软岩, 岩石较破碎, 多呈碎块状、短柱状, 少数长柱状, RQD 为 50%~55%, 岩体基本质量等级为 IV 级。该层未穿透。

天然地基设计参数表

| 岩土名称           | 承载力特征值 fak (kPa) | 压缩模量 Es1-2 (MPa) | 沉井外壁与土体间的单位摩阻力 kPa |
|----------------|------------------|------------------|--------------------|
| ②层粉质黏土         | 100              | 5.48             | 25                 |
| ③层粉土夹淤泥质粉质粘土   | 70               | 4.1*             | 10                 |
| ④层粉质黏土         | 160              | 7.89             | 35                 |
| ⑤-1 层全风化安山质凝灰岩 | 260              | 13.0*            | -                  |

| 岩土名称           | 承载力特征值 fak (kPa) | 压缩模量 Es1-2 (MPa) | 沉井外壁与土体间的单位摩阻力 kPa |
|----------------|------------------|------------------|--------------------|
| ⑤-2 层强风化安山质凝灰岩 | 400              | 20.0 (E0)        | -                  |
| ⑤-3 层中风化安山质凝灰岩 | 1000             | 微压缩性             | -                  |

注：表中 \* 为经验值。

### 三、实际案例分析

#### (一) 方案比选

|      | 方案一   | 方案二                                 | 方案三                              | 方案四                              |
|------|---|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 方案类型 | 钢板桩支护   | 微型顶管                                | 放坡开挖                             | 灌注桩支护                            |
| 优点   | 施工速度快，造价便宜，大面积广泛应用。                               | 施工速度快，造价适中，占用场地较小，对交通影响较小，社会影响小。    | 施工速度快，造价便宜，大面积广泛应用。              | 适用范围广阔，基坑安全系数高。                  |
| 缺点   | 对施工空间净高有一定要求，锤击施工有震动，对周边建筑物有一定影响。静压施工设备较大，对场地要求较高 | 对土层有一定要求，尤其杂填土中慎用，对施工单位要求较高，专业队伍施工。 | 基坑深度受限，开挖面积较大，场地受限及旁边有建筑物，构筑物情况。 | 造价较贵，对使用空间有一定要求，尤其净高受限情况，施工工期较长。 |

#### (二) 设计方案及实施步骤

针对上述情况，本项目采用了以下设计方案：（1）选用改良地箭式微型顶管工艺；（2）根据现场实际情况调整顶进速度；（3）加强监测预警机制，及时发现并解决问题。

具体实施步骤如下：

（1）现场准备：包括场地平整、材料堆放区划分、临时设施搭建等。

（2）设备调试：对所有参与施工的机械设备进行全面检查与调试，确保其处于最佳状态。

（3）导向孔施工：使用定向钻机按规划路径钻出导向孔，为后续管道铺设提供通道。

（4）管道铺设：将预制好的管道依次放入导向孔内，并通过牵引力将其拉入预定位置。

（5）接口处理：对相邻两段管道之间进行密封处理，保证整体结构完整性。

（6）质量检测：施工完成后进行一系列功能性试验，如通水试验、压力测试等，确保工程质量符合标准要求。

（7）特殊地质条件下处理方法：

a DN500\DN600 管道采用给水排水工程微型顶管技术规程<sup>[1]</sup>微型岩石顶管机或机械顶管机，局部穿越（1）层杂填土应采用具有二次破碎功能的顶管机械。（1）层杂填土，松散，干-湿，以建筑垃圾为主，含大量碎砖、块石硬质物，局部为原建筑物基础、块石垫层。顶管施工前采用定向钻进行预探查，摸清管线路由上的障碍物情况，做好清障排障措施。

b 局部顶管段同时穿越（2）层粉质黏土、（3）层粉土夹淤泥质粉质粘土、（4）层粉质黏土、（5）-1 层全风化安山质凝灰岩、（5）-2 层强风化安山质凝灰岩、（5）-3 层中风化安山质凝灰岩。顶管施工前采用定向钻进行预探查，摸清土岩结合面位置，在土岩结合处加设工作井。

c 本工程局部顶管工作井周边为（1）层杂填土、（3）层粉土夹淤泥质粉质粘土土体承载力较低，土体性状较差、沉井后背顶力过大，设计考虑对顶管工作井后背土体采用建筑地基处理技术规范<sup>[3]</sup>高压旋喷桩进行土体加固。

d 部分沉井、倒挂井、支护桩内衬井地基基础持力层位于（3）层粉土夹淤泥质粉质粘土时，采用间距约 1.0m 直径 500 建筑地基处理技术规范<sup>[3]</sup>高压旋喷桩复合地基处理。

e 部分沉井、倒挂井穿越（1）层杂填土、（3）层粉土夹淤泥质粉质粘土，因土层中含淤泥，该层土土质不均，工程性质差，为防止施工过程中可能引发的周围地面沉降对临近现状构、建筑物造成影响，故对本工程部分沉井周边进行高压旋喷桩（止水帷幕）处理。

f 部分管道位于（2）层粉土夹淤泥质粉质粘土，因土层中含淤泥，该层土土质不均，工程性质差，为防止施工过程中可能引发的管道沉降，对本工程部分管道及沉井进出洞口处采用高压旋喷桩处理。

（8）施工结果与讨论：本次工程顺利完工，并通过了相关部门验收。整个过程中未发生任何安全事故，质量控制良好。通过对比发现，采用微型顶管技术比传统

开挖法节省了大量时间和费用，同时也减少了对周边环境的影响。这表明，在类似复杂地质条件下实施此类工程项目时，优先考虑使用非开挖技术是非常有益的选择。当然，实际操作过程中仍需注意细节把控，比如如何进一步提高施工精度、降低成本等方面还有待深入研究。

(9) 常见问题及解决方案：尽管微型顶管技术有着诸多优点，但在实际应用过程中仍然会遇到一些问题。例如，在遇到坚硬岩石时可能会导致先导管无法顺利穿透；又或者是在长距离顶进过程中出现偏离预定路线的情况等等。针对这些问题，可以通过以下几种方式加以解决。

$$N_F = \frac{\pi}{4} D^2 \gamma_s H_s = \frac{\pi}{4} \times 0.720^2 \times 20.00 \times 10.500 = 85.502 \text{ kN}$$

顶推力：

$$F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F = \pi \times 0.720 \times 50.000 \times 5.00 + 85.502 = 0.651 \times 10^3 \text{ kN}$$

(2) 管材允许顶推力计算

$$F_{dc} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd} \phi_5} f_c A_p = 0.5 \times \frac{0.90 \times 1.05 \times 0.85}{1.30 \times 0.79} \times 19.10 \times 0.105 \times 10^6 = 0.786 \times 10^6 \text{ N} = 0.786 \times 10^3 \text{ kN}$$

(3) 顶推力验算

$F_0 = 0.651 \times 10^3 \text{ kN} < F_{dc} = 0.786 \times 10^3 \text{ kN}$  满足相关要求  
 综上：微型顶管具有：

1) 非开挖特性：微型顶管技术最大的特点是其非开挖性质，这意味着施工过程中不需要大面积开挖地面，从而减少了对周围环境和现有基础设施的干扰。这一特点使得该技术特别适用于城市中心区域或其他空间受限的地方。

2) 适用范围广由于给水排水工程微型顶管技术规程<sup>[1]</sup>微型顶管技术能够适应多种不同的地质条件，包括松软土层、砂砾层甚至是含有一定障碍物的复杂地层，因此它的应用范围非常广泛。此外，它还可以用于穿越河流、铁路和其他难以采用传统开挖方法的区域。

3) 施工效率高相比于传统的开槽埋管方法，微型顶管技术具有更高的施工效率。因为该技术不需要大量的土壤移除工作，所以整个施工过程更快完成，这对于需要快速恢复交通或减少施工影响的场合尤为重要。综合本次设计考虑采用微型顶管工艺施工。

### 结语

1) 本文通过对微型顶管技术及其应用实例进行了详细阐述分析，得出以下结论：

- (1) 微型顶管技术是一种高效实用的非开挖施工方法，特别适用于城市密集区域或者地质条件复杂的地段；
- (2) 在实际工程应用中表现出色，既能满足工程质量要求又能显著降低对周围环境的影响；
- (3) 针对不同地

a 增强设备性能：选用功率更大的液压千斤顶以及更加坚固耐用的前导管材料；

b 优化施工方案：根据实际情况灵活调整顶进速度和角度，必要时可分段实施；

c 加强监测力度：利用先进的测量仪器实时跟踪记录各项关键指标变化情况，一旦发现问题立即采取措施予以纠正。

### (三) 顶管顶推力计算

(1) 顶推力计算

按《给水排水工程顶管技术规程》计算。

土压、泥水平衡式，顶管机迎面阻力：

质状况需采取相应措施以保证施工顺利进行。

2) 存在的问题与不足之处

目前还存在一些亟待解决的问题：(1) 如何进一步提升施工精度；(2) 怎样更好地控制成本；(3) 是否有可能开发出更为先进的配套装备等。这些问题都需要我们在今后的工作中不断探索和完善。

3) 对未来研究的建议

为了促进微型顶管技术的推广和应用和发展创新，建议从以下几个方面入手开展研究工作：(1) 加强对新材料新技术的应用研究；(2) 深入探究各种复杂工况下的力学行为特征；(3) 开发智能化管理系统实现全程自动化控制；(4) 注重人才培养与团队建设形成持续创新能力。

通过以上努力相信能够使我国在这一领域达到国际领先水平并为城市建设做出更大贡献。

### 参考文献

[1] TCECS 1113-2022, 给水排水工程微型顶管技术规程 [s] 北京：中国建筑工业出版社，2022。  
 [2] CECS 246: 2008, 给水排水工程顶管技术规程 [s] 北京：中国计划出版社，2008。  
 [3] JGJ79-2012, 建筑地基处理技术规范 [s]. 北京：中国建筑工业出版社，2012。

作者简介：袁道宏（1984-），男，安徽金寨人，高级工程师，学士，主要从水工结构、建筑结构、市政轨道交通结构等结构设计。