

钢筒工作井在小型市政管道顶管施工中的应用

沈卫玲

上海建工四建集团有限公司 上海 201106

摘要：目前，对于人口密集、交通繁忙的城市区域，对于穿越道路、河道或周边不具备开挖条件的管道施工，非开挖顶管施工技术应用愈加广泛，其施工精度高、环境影响较小，然而受工作井施工的限制，施工速度一般，且施工成本较大。故本文仅以高科中路项目为例，介绍一种钢护筒工作井，以解决顶管工作井的施工限制。

关键词：非开挖；顶管；钢筒井

1 工程背景

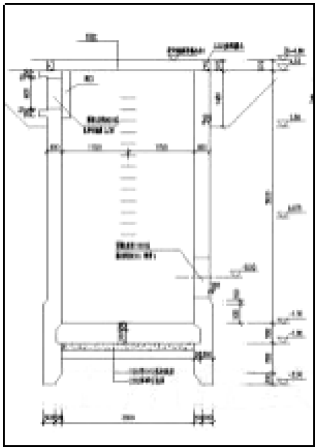
高科中路（罗山路~外环线）改建工程等级为城市主干路，设计速度为50km/h，西起罗山路，东至外环线。道路全长约6.5km，红线宽度50m。

碧波路及紫薇路两路口交通繁忙、车流及人流大，且有有轨电车在运营，路边的电杆基础是2*2m长宽，深3m的基础，轨道上下行两根水平方向2m，深2.5m见方是防迷流网。设计有2根新建DN1000雨水管道分别埋设深

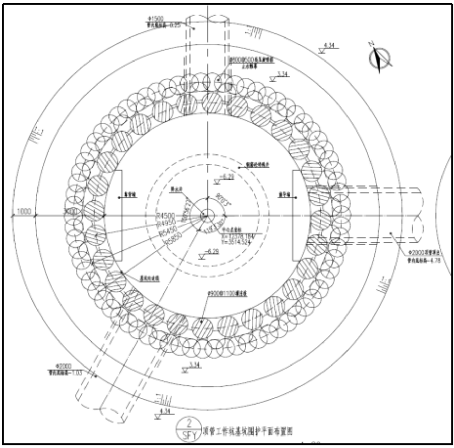
度约8米（不能碰到防迷流网），管道设计路径已避开路中心的中间承力电杆，然而开挖施工仍难以实现雨水管道DN1000施工，拟采用泥水平衡式顶管穿越路口，地下穿越电车轨道，避免影响电车的运营。本项目施工工期紧，故对于顶管工作井的选择，是本工程一大重点。

2 顶管工作井选型及分析

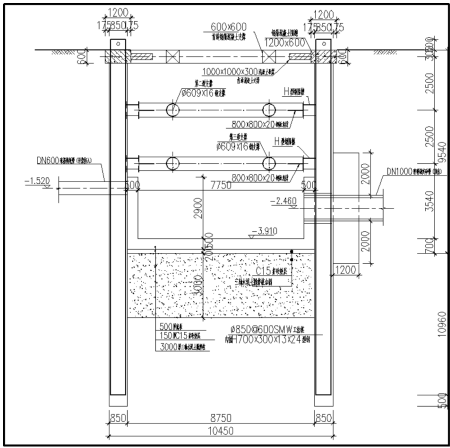
常规顶管工作井多采用钢砼工作井，如沉井、钻孔灌注桩+高压旋喷桩复合结构、SMW工法桩结构。



沉井



钻孔桩+旋喷桩



SMW工法桩

工效分析：

(1) 结构稳定性分析

沉井结构与钻孔桩旋喷桩复合结构属于刚性结构，受力性能好，结构稳定性强，对于顶管施工的埋深没有特别的要求；SMW工法工作井属于半刚性结构，受力性能和结构稳定性较好，适用于埋深一般和较浅的顶管施工；钢筒井属于柔性结构，受力性能较好，稳定性相对较弱，适用于埋深较浅的顶管施工。

(2) 施工工期分析

根据市政工程公司宝山城市排水项目顶管施工、长湖申线顶管施工、绥芬河路顶管施工等多个项目的经

验，沉井结构施工工期 > 3个月，钻孔桩+旋喷桩复合结构工作井施工工期一般2个月左右，SMW工法桩顶管工作井施工工期一般在1个月左右；

根据高科中路项目小型顶管施工经验来看，钢筒工作井施工工期一般在1周左右。

(3) 施工占地分析

沉井、钻孔桩+旋喷桩复合结构、SMW工法桩结构均涉及大型设备进出场以及大量的钢材、水泥等材料堆放，单个工作井施工一般需要占用500m²甚至更大面积的施工用地来临时停放。而钢筒工作井施工仅涉及摇管机、钢护筒、挖机临时搁置，单个工作井施工占地面积

仅需150m³左右。

(4) 经济性分析

沉井经济指标按照本单位某城市排水项目沉井进行估算，沉井尺寸为34.7m*34.7m，埋深为16.2m，造价1392万元，等比换算成6*6m，埋深12m工作井，经济指标为39.1万元/座；

钻孔桩+旋喷桩复合结构工作井经济指标按照本单位某顶管项目换算，某项目顶管工作井与接收井共6座，尺寸分别为4.7*5.7m~6*9.5m不等，埋深14m~33.2m不等，造价8697083元，换算成6*6m，埋深12m工作井，经济指标为52.7万元/座；

根据本单位某项目情况，SMW工法桩工作井共3座，尺寸4*4.9m~4.55*7.75m，埋深24m，造价215万元，换算可算得经济指标，埋深12m，SMW工法桩工作井35.8万元/座；

根据高科中路项目结算情况可查得，12m钢筒井经济指标为33.3万元/座。

由此可看出，以12m埋深的结构为准，沉井、SMW工法桩、钢筒井经济差距不大，其中钢筒井最为经济，而钻孔桩+高压旋喷桩复合型围护经济差距较大。

(5) 环境效益分析

沉井结构与钻孔桩旋喷桩复合结构属于钢筋混凝土结构，不可回收利用，施工期间均存在一定的噪音和扬尘影响。

SMW工法桩施工噪音影响较小，待施工完成后可将型钢拔出，回收利用，而其施工涉及水泥筒仓后台，存

在扬尘影响。

钢筒井施工噪音较小，无扬尘影响，管道以上部分可回收利用，利用率可以达到50%。

项目	沉井	钻孔桩+旋喷桩	SMW工法桩	钢筒工作井
结构刚度	大	大	较大	一般
稳定性	好	好	较好	一般
施工工期	>3个月	2个月左右	1个月左右	7天
施工占地	要求较高	要求较高	要求较高	要求低
经济性	造价较高	造价高	较好	较好
环保性	较差	较差	一般	较好

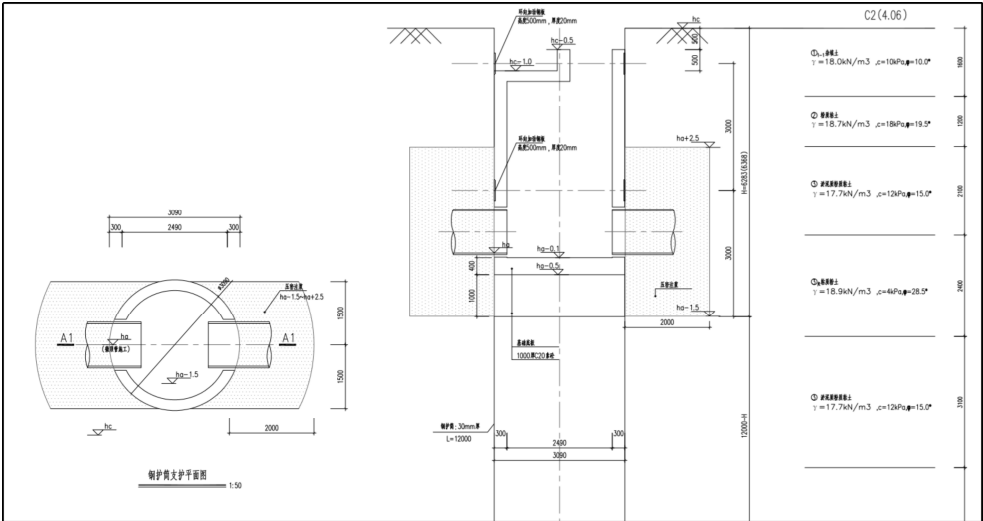
故对于大管径埋深较深的顶管工作井，结构刚度和稳定性要求高，适合选择沉井或钻孔灌注桩+高压旋喷桩复合结构作为工作井；对于大管径埋深较浅的顶管，结构刚度和稳定要求一般，可选择SMW工法桩结构作为工作井，对于中小管径埋深较浅的顶管，可选择钢筒井作为工作井。

本项目顶管管径DN1000，埋深约8m，选择钢筒井作为顶管工作井较为合适，即可节约工期、节省用地，又可提升经济效益与环保效益。

3 钢筒井实施方案介绍

3.1 钢筒井结构设计

钢筒工作井，钢筒壁厚3cm，内径为3.09m，每节长度为2.0m，上节钢筒与下节钢筒之间焊接，钢筒最下部切割出深50mm的锯齿状。焊接时焊缝要求平滑，不得有气孔夹渣等焊接缺陷，焊缝高度不低于8mm，要求钢筒之间密封连续焊接，采用360°环式满焊。



3.1.1 钢筒井受力分析

3.1.2 顶管井数值模拟受力分析

(1) 顶力计算

最大推力计算，根据规范《顶管工程施工规程 DGTJ08-2016》，按顶距100米计算：

$$F = F_1 + F_2$$

上式中：F—总推力；F1—端阻力；F2—侧壁摩阻力；

$$F1 = \pi/4 \times D^2 \times R_1$$

式中D—管外径（m），本式中取1.16m；

R₁—顶管机下部1/3处被动土压力（kN/m²）；

$$R_1 = K_0 \cdot \gamma \cdot H_0$$

式中：K₀—静止土压力系数，一般取0.55

H₀—地面至掘进机中心的高度，本计算式中取值8m

γ—土的重量，取19kN/m³

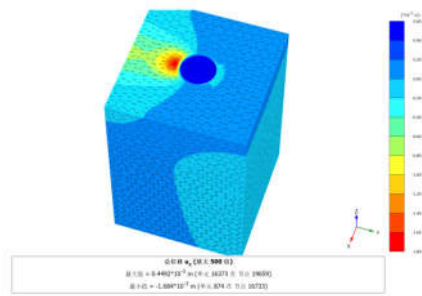
$$F2 = \pi D \cdot L \cdot f$$

式中：f—管外表面综合摩擦阻力，本式中取值4kN/m²；D—管外径（m），本式中取1m；L—顶距m，本式中取100m

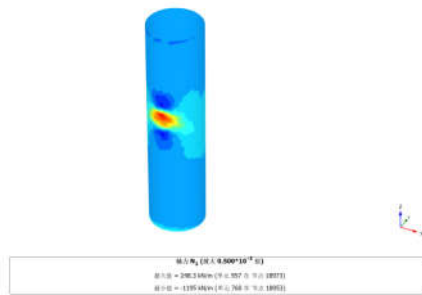
$$F = F1 + F2 = 154.5t^{[1][2]}$$

（2）钢筒井数值模拟

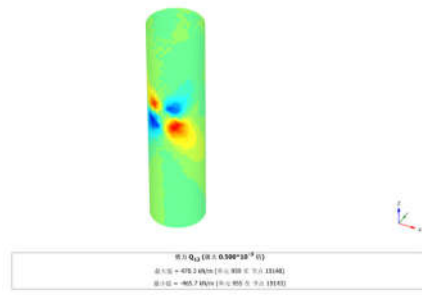
对受到主被动土压力和顶力作用下的井身轴力、剪力以及井口位移进行数值模拟。结果如下：



井口位移模型



井筒轴力分析图



井筒剪力分析图

从理论数值受力模拟看出，井口最大位移在1.68mm。井筒轴力最大为1195kN/m，剪力为480kN/m，二者位置均位于后靠背位置。轴力允许值和剪力允许值分别19000kN/m和11124kN/m，可见理论计算数值远远小于设计允许值。

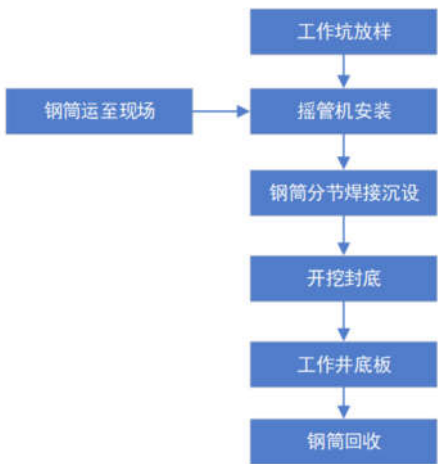
3.1.3 整体式后靠背

常规顶管后靠背多采用现浇钢筋混凝土结构，与顶管井相连接，并对后靠背临近土体进行加固。

本工程工作井为钢筒井，采用整体匹配式后靠背，主顶油缸后背为弧形结构，与钢筒内壁契合，管道顶进时，钢筒即为顶管后靠背，油缸后背与钢筒内壁空隙用三角铁焊接固定。施工时，为增加钢筒的稳定性，在钢筒内侧加焊环向肋钢板，高度500mm，厚度20mm，在管道四周2米区域进行压密注浆加固，增加土体的密实度，以达到增加后靠背强度的目的。Y99~Y100钢筒底部嵌入土层深度不少于8.0米，封底厚度为1.0米。这样，后靠背的受力点靠近整个钢筒中部，避免钢筒底部受力，出现倾斜的情况。

3.2 钢筒井施工

3.2.1 钢筒井施工工艺流程



3.2.2 钢筒井施工方法及技术措施

（1）工作坑放样

根据施工设计图纸，放出工作坑中心点位置。施工前，需详细调查工作坑范围的地下管线，必须与相关管线保持安全距离。

（3）摇管机安装

工作坑位置确定后，开挖至1.6米深度，放入第一节钢筒，摇管机安放在钢筒上方。如下图：

（4）钢筒焊接沉设

首先，将摇管机精准安放至预定位置。随后，使用起重设备将第二节钢护筒吊入，确保其接口与第一节钢

护筒的接口精确对齐，严格控制错缝不得超过10mm。接口对齐后，进行细致的焊接作业，焊接质量需符合相关标准规范。焊接完成后，将钢护筒与挖机油路进行可靠连接，启动摇管机，使钢护筒开始缓缓下沉。在下沉过程中，施工员需定期采用高精度水平尺紧贴钢筒侧壁，以此来精确控制钢筒垂直下沉。同时，在钢筒井口精心设置4个水平监测点，测量人员使用水准仪每十分钟进行一次严密监测，确保钢筒井井口高差始终控制在10cm以内，且钢筒垂直度偏差大不于1%。此外，钢护筒沉设标高必须严格控制，不得高于设计标高，以保证后续施工的准确性和安全性。



摇管机安装

(5) 开挖封底

当摇管机将钢护筒下沉至设计标高后，方可进行开挖封底作业。对于每个下沉至设计标高的钢筒井，均采用干封底工艺。

在取土过程中，若发现井内出现管涌、流沙等不良地质现象，必须立即暂停取土施工。此时，需向井内注水，使工作坑内外水压迅速达到平衡状态，之后再行水下取土和水下封底操作。通过这种方式，能够有效避免出现突沉现象以及周围土体因扰动而下沉的情况，确保施工安全和工程质量。

具体的摇管钢筒井水下封底操作如下：当井内取土后发现管涌、流沙现象时，暂停取土施工，并向井内注水，直至水位达到钢筒井井口下0.5m处，使工作坑内外水压保持稳定平衡。然后，使用测量绳实时跟踪测量取土深度，当达到设计标高后，立即暂停取土施工。接着，采用厚度为3mm、直径为 $\phi 2990$ 的钢板与14#工字钢进行牢固焊接固定，再将其平稳沉入井底并水平铺设。根据封底深度，准确安装水下灌注砼导管及料斗，并与混凝土罐车进行可靠固定连接，随后开始进行水下封底作业。在封底过程中，持续使用测量绳测量封底标高，当达到设计标高后，及时停止浇筑砼，之后拆除导管及料斗，并安装临边围护设施。以保障施工人员的安全^[1]。

(6) 工作井底板

在工作井封底完成且砼达到规定强度后，方可开始进行工作井底板的制作。首先进行底板钢筋的绑扎工作，钢筋绑扎需严格按照设计要求和施工规范进行，确保钢筋的间距、数量和锚固长度等符合标准。钢筋绑扎结束后，浇筑30cm厚的C20混凝土，并及时进行找平处理，使底板表面平整光滑。同时，在工作井底板上设置一座集水坑，以保证井内的排水顺畅，避免积水对工作井结构造成不良影响。

(7) 钢筒回收

管道顶进及检查井砌筑结束后，在管道上口50cm位置切割，回填后通过摇管机把钢筒摇出回收。本工程检查井为现浇砼井，按设计要求钢护筒不拔除。

4 钢筒井井口位移实测

检测时间	检测项目	控制点		钢护筒顶标高 (Z) 测点			
		A1	A2	D1	D2	D3	D4
	开挖前《原始数据》	57.0	57.0	150.5	151.5	150.7	148.6
	开挖深度1/4h时	60.1	60.0	153.7	154.7	154.0	152.1
	开挖深度1/2h时	60.3	60.3	153.7	154.7	153.7	151.8
	开挖深度3/4h时	60.0	60.1	153.6	154.7	153.9	151.9
	封底结束时	60.3	60.2	153.7	154.6	153.7	151.9
	顶管顶进前	61.0	61.1	154.5	155.5	154.7	152.6
	第1天顶管顶进结束时	58.3	58.2	151.8	152.8	152.0	149.9
	第2天顶管顶进结束时	62.4	62.4	155.9	156.9	156.1	154.0
	第3天顶管顶进结束时	62.7	62.6	156.2	157.2	156.4	154.3
	第4天顶管顶进结束时	59.2	2.2	152.7	153.7	152.9	150.8
	第5天顶管顶进结束时	60.5	3.5	154.0	155.0	154.2	152.1
	第6天顶管顶进结束时	58.9	58.9	152.4	153.4	152.6	150.5
	第7天顶管顶进结束时						

顶管井位移情况

实际位移情况与数值模拟差距较小，故可以认为顶进过程中，顶管井受力变形可控。

5 结语

常规的顶管工作井多采用钢筋砼沉井、SMW工法桩等刚性结构，本工法相较于常规工作井，采用了钢筒井，可预制焊接，施工速度快，还可回收利用，经济环保，满足了在工程背景下施工方以及业主方等多方的需求。

本工艺钢筒井以摇管法为主要工艺开展施工，插打既快速又便捷，同时可以减少占地，相比传统顶管井工艺，节约工期30%左右。钢筒井采用摇管法施工，相较于其他工作井结构，施工场地长期仅需布置摇管机和相应吊装设备，无需其他大型设备场地，大大降低施工空间要求。钢材回收率能够达到80%，能有效降低成本投入，经济性较好。

参考文献

[1] 浅议微型顶管工艺在市政污水管道工程中的应用；胡辉《建设监理》2023-03-10.
[2] 顶管法降本增效及技术难点分析；陈国俊《散装水泥》2024-04-28.