

弱膨胀黏性土地段大口径顶管工作井施工方案比选及优化

邵文泽 程立新
中交路桥北方工程有限公司

摘要：结合成都市龙泉驿区灵龙路东段市政道路建设工程，针对该地段特有的环境，对常规使用的顶管工作井开挖方法进行了比选，方案包括逆作法法和沉井法，探讨了各施工方案的优缺点。对比后选用了逆作法施工，并对该方案进行了优化设计。结果表明，该方案效果较好，达到了预期目的。

关键词：顶管；工作井；沉井法；逆作法

一、工程概况

本论文依托项目为成都市龙泉驿区灵龙路东段市政道路建设工程，该工程位于成都市东部龙泉驿区十陵街道，处于三环路、成都绕城高速、沪蓉高速和成洛大道之间。本工程灵龙路东段污水经支一路污水管道排入十陵河已建污水干管，最终排入西河污水处理厂。十陵河永久迁改污水干管（W13~W24）采用顶管施工。W13~W24范围为顶管工程，污水干管管径d1200，管道埋深5.27~7.26m。

根据地层结构和区域水文地质资料，该场地地层从上至下依次为杂填土层、弱膨胀土层、卵石土层、泥岩层，其中卵石土层、泥岩层在地下7m以下。基本可以判定，本工程顶管工作井施工地质主要为弱膨胀土地层。弱膨胀土地层为灰褐色，主要成分为黏性土，含氧化铁、铁锰质，裂隙发育，隙间充填灰白~灰绿色薄膜状软塑高岭土，局部地段含少量钙质结核。地下水类型为上层滞水，主要赋存于黏土层和卵石土层中，受生活用水和大气降水的补给。场地稳定地下水位约1.5~5.5m。

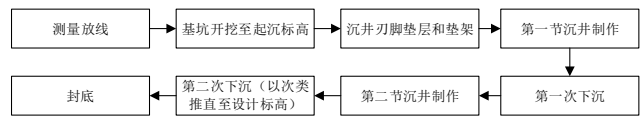
二、方案比选

本工程全线顶管工作井、接收井原设计均采用沉井施工法，但根据我们以往的施工经验，沉井法更多地运用于永久性结构，

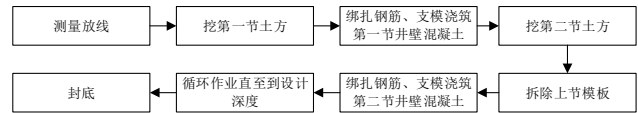
而顶管工作井仅是服务于顶管作业的临时结构，也可以采用逆作法施工。鉴于此，我们考虑技术、经济等因素，提出变更为逆作法的方案。首先，我们对这两种方案进行了对比分析。

（一）技术性对比

沉井法是指先在地面上制作的钢筋混凝土井身，待混凝土达到一定强度后，在井内挖土使井身依靠自重克服其与土壁之间的摩擦力，不断下沉直至设计标高的施工方法。沉井法工艺流程为：



逆作法是指在地下结构施工时，而以结构本身作为挡土墙，从上而下依次开挖和浇筑结构体的施工方法，其施工顺序与常规施工顺序（从下而上）相反。逆作法工艺流程为：



根据以往的施工经验经验，我们对两种方法从施工工期、外观质量、施工用地等方面进行了比较，结果见表1。

由表可以看出，沉井法虽然安全性、成品质量高，但是工

表1 技术性对比表

施工方法	工艺水平	成品质量	工期	施工场地	安全性
沉井法	施工工艺要求高。容易出现沉井井身倾斜后不易纠正、沉不到位、超沉等现象	在地面预制、养护，成品质量高	工艺复杂，工期较长	10×10m，需要沉井预制的空间	高
逆作法	一般，施工工艺较为常规	边开挖边浇筑，不易养护，成品质量一般	工艺常规，与沉井法比可缩短工期40%	8×8m，基本不额外占用场地	一般

艺复杂，不易控制，且整体施工周期偏长，需占用较大的施工场地，对周边建筑物、构筑物等影响大。而逆作法施工工艺较为简单，可有效缩短工期，且成品质量可以满足顶管工作井这类临时结构的需求。

（二）经济性对比

根据以往的施工经验及企业施工定额，以7m深顶管井为例，我们对两种方法的人工费、机械费、材料费、措施费等费用进行了估算，结果见表2。

表2 经济性对比表

施工方法	人工费	机械费	材料费	措施费	合计
沉井法	15.2万元	5万元	40万元	10万元	70.2万元
逆作法	12.3万元	2万元	40万元	6.5万元	60.8万元

由表可以看出，在同样的条件下，工作井沉井法比逆作法施工费用高约15%。在满足施工要求的情况下，采用逆作法，可取的良好经济效益。

（三）结论

总之，沉井法存在施工工期长，成本大，施工精度要求高

的特点，虽然安全性及成品质量较高，但更适用于永久性结构，而顶管工作井作为顶管作业的临时结构，逆作法有着工期短、成本较低的特点。在安全质量满足条件的要求下，可选用逆作法施工。

因此，为了节约社会资源，缩短工期，我项目积极业主与设计单位沟通，将顶管工作井改为逆作法施工。

三、方案可行性及优化设计（逆作法）

本工程顶管工作井施工地质主要为弱膨胀黏性土。膨胀土，由于富含一些亲水性矿物，具有明显的吸水膨胀和失水收缩的特点，属于性质极不稳定的高塑性黏质土。顶管基坑开挖时有可能发生塌方。

因此，如采用逆作法，为保证方案安全可行，就要详细了解地质资料，对地质情况进行分析，确定逆作法每层开挖深度；土方开挖完成后及时对开挖面进行支模、浇筑混凝土。我们对以下关键点进行了详细设计。

（一）开挖方法及每层开挖深度

施工测量，放出工作井边线后，即可进行土方开挖。由于井比较深（12座井深度均接近5~7m），且土方量很大。考虑弱

膨胀黏性土稳定性较差，为了减少大型施工机械对基坑侧壁的扰动，施工开挖采用微型挖掘机进行挖土，人工辅助修边，吊架配合出渣斗装运出渣。



图1 微型挖掘机配合出渣斗施工

开挖应分节进行，每节挖土深度由计算得出。考虑圆拱效应对土体稳定的影响，运用别氏护壁主动土压力计算公式^[1]进行分析计算。根据下式求工作井最大自稳深度为：

$$H_{max} = \left(\kappa \cdot \frac{0.9c + 0.1\phi}{10R_0} + 1 \right) \frac{2c}{\gamma \tan(45^\circ - \phi/2)}$$

式中， H_{max} 为井最大自立稳定深度； κ 为一个与土质有关的系数，黏土取1.0； γ 为坑壁土的重度； ϕ 为坑壁土的内摩擦角； c 为坑壁土的粘聚力； R_0 为桩孔掘进半径（m）。

我们取本项目弱膨胀黏性土进行分析（重度 20KN/m^3 、粘聚力 10KPa 、内摩擦角 18° ，桩孔半径 3.05m ），带入到上式中得出在 3.05m 孔半径时，孔壁最大自立稳定深度为 $H_{max}=1.86\text{m}$ 。

由上述计算，可得出无防护情况下，井侧土体能够自稳的最大深度 1.86m 。实际施工中，每节挖土深度取 1m 。

(二) 井护壁墙厚度计算

井坑开挖后，经人工修整完毕后，即可进行护壁墙施工。护壁墙施工工序如图。

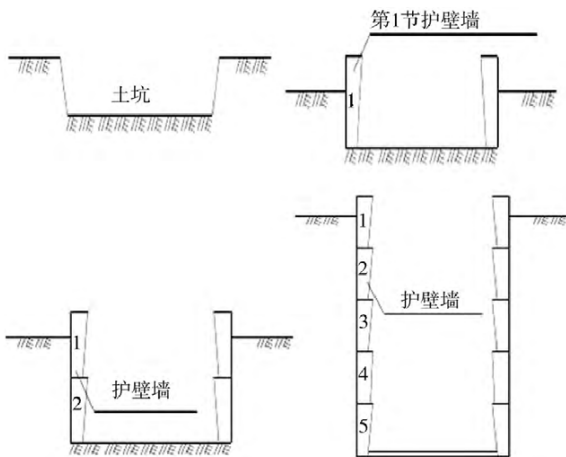


图2 护壁墙施工示意图

护壁墙厚度按最深段护壁所承受的土压力及地下水侧压力计算确定，压力可按下式计算：

$$p = \gamma H t g^2(45^\circ - \phi/2) + (\gamma - \gamma_w)(H-h) t g^2(45^\circ - \phi/2) + \gamma_w(H-h)^2$$

式中， p 为土和水对护壁墙的总压力； γ 为土的重度； γ_w 为水的重度； H 为护壁深度； h 为地面至地下水深度；

按地面以下 1.5m 有水，护壁深度按最不利考虑取 7.5m ，土的重度为 20KN/m^3 ，水的重度为 10KN/m^3 ，带入公式可得到最大总压力 $p=170.85\text{KN/m}^2$ 。

护壁墙采用C30混凝土，混凝土的轴心抗压强度设计值 $f_c=14.3\text{Mpa}$ ，这里取早期抗压强度，按50%折减，取 7Mpa ，井直

径 $D=6.1\text{m}$

则有护壁墙厚度 $t = KpD/2f_c = 4 \times 170.85 \times 6.1 / (2 \times 7 \times 10^3) = 0.298\text{m}$ （ K 为安全系数取4）。

根据计算可知，护壁混凝土厚度不小于 29.8cm 即可满足正常施工要求。为安全起见，护壁厚度下口取 35cm ，上口取 40cm ，内布纵向 $\phi 20@150$ 水平 $\phi 16@150$ 双层双向钢筋网。

(三) 井壁模板支架设计

井壁模板由钢模拼装而成，常规的圆形工作井井壁内模多采用扣件式钢管脚手架与顶托对顶支撑。该种脚手架不仅搭设费事费力，而且占用较多空间，不利于人员上下通行，并且施工质量还受到工人技术水平的影响较大。



图3 常规的工作井井壁模板支架

为解决圆形工作井井壁内模脚手架搭设费事费力，施工质量不易保证等问题，我们设计可一种新型的一体式内模支架。支架由内支撑圈、六边形横联、落地立杆、横杆等四个主要部分组成，各部分支架采用符合国家标准的直角扣件、可调U型顶托等连接。如图所示，可迅速搭设，节约空间，并大大的提升施工质量。

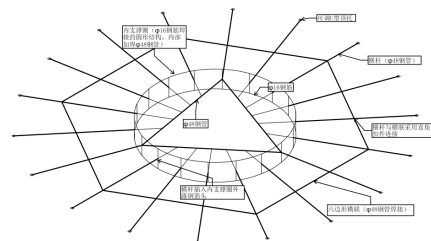


图4 新型的一体式内模支架示意图

四、结语

成都市龙泉驿区灵龙路东段市政道路建设工程顶管工作井施工，项目部根据现场实际环境及项目成本、进度情况，经充分论证，灵活选用逆作法进行施工，有效缩短顶管整体施工工期，节约了社会资源，为灵龙路东段市政道路建设工程顺利完工打下了坚实基础。

参考文献

[1] 黄博杰, 曹永红, 华建民, 康明. 考虑圆拱效应的桩孔最大自立深度[J]. 土木建筑与环境工程, 2018.
[2] 江正荣, 朱国梁. 简明施工计算手册[M]. 2016.