

污水主干管网穿越城乡房屋密集地区顶管关键技术研究

文 / 郑焕忠 深圳市金源达建设集团有限公司

摘要: 在南庄南片区污水主干管网工程, 对污水主干管网穿越城乡房屋密集地区顶管关键技术提出系统性研究。这技术的应用范围相对广泛, 特别是广大城乡房屋密集地区, 采用高压旋喷桩房屋保护, 及预制混凝土检查井, 利用沉管技术整体下沉技术, 最大化利用狭窄空间, 减少施工对于周边区域的不良影响, 适用于房屋密集, 施工空间狭小, 地下管线多的复杂环境。

关键词: 狭窄空间; 房屋密集; 沉管下沉; 顶管

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.117

引言

在污水管网建设过程中, 面临着建设地区因规划混乱、房屋密集、人口密度大, 道路狭小、地下管线不明的复杂因素, 使得可施工的空间极为狭窄且施工安全风险大。针对南庄南片区污水主干管网工程建设过程中发现的问题, 开展技术研究, 创新施工工艺。将污水主干管网穿越城乡房屋密集地区顶管关键技术有效地应用于排水工程中, 能够切实地解决空间狭窄, 房屋密集, 环境复杂的施工难题, 减少对周边环境的影响。

一、研究背景

南庄南片区污水主干管网工程-2017年(第一标段吉利城区)位于佛山市禅城区南庄镇南片区, 纳污范围包括吉利村、龙津村、贺丰村、杏头村、河溜村、醒群村、梧村村和村尾村共8条村委范围, 面积约为32.708平方公里。内容包括新建DN400~DN800污水管道总长约8.3km。污水管道主要铺设在村道、县道, 道路狭窄且为附近村民的必经之路, 周边房屋密集且管道沿线离房屋较近。在项目设计阶段, 设计单位考虑到上述原因, 为减小影响, 所以本工程采用顶管技术施工。

顶管施工技术的优点可以减少一定的大开挖, 但是在顶管施工过程中的不可预见性, 对周边房屋、地下管线保护均存在一定的影响。

二、主要技术要点

污水主干管网穿越城乡房屋密集地区顶管关键技术有以下三点主要技术要点:

(一) 采用高压旋喷桩对顶管沿线房屋进行预支护, 防止顶管过程对周边建筑物造成沉降位移等影响。

(二) 根据现场的情况及地下管线的走向, 利用CAD放样施工, 调整顶管井尺寸。

(三) 采用预制混凝土检查井施工, 利用沉管技术整体下沉, 减少占地面积, 提高施工安全性, 加快施工进度。

三、适用范围

本技术适用于广大城乡房屋密集地区、道路空间狭小、人口流量密集、地下管线众多等复杂环境下采用顶管施工工艺的新建、改建污水管道等项目。

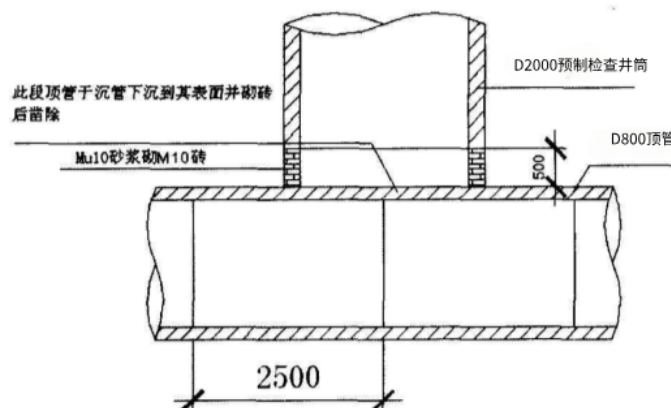
四、工艺原理

(一) 采用高压旋喷桩对顶管沿线房屋进行预支护。顶管沿线房屋密集距离较近, 且房屋基础埋深较浅, 为确保建筑物在顶管施工过程中不受影响, 使用高压旋喷桩对房屋基础边线及两侧3.0m处进行支护施工, 高压旋喷桩

桩径500mm, 间距为300mm, 采用P.O.42.5级水泥, 水灰比为0.8-1.0, 工作压力 $\geq 20\text{MPa}$, 水泥用量为250kg/m, 桩身混凝土无侧限抗压强度为2.5MPa, 高压旋喷桩桩身强度达到设计强度即2.5MPa后, 方可进行顶管施工。

(二) 根据现场的情况及地下管线的走向, 利用CAD放样施工, 调整顶管井尺寸。首先根据勘察单位出具的《地下管线探测技术报告》, 结合与各管线管理单位开会共同确定的《地下管线交底报告》, 然后组织专业测量技术人员使用管线探测仪根据相关的报告实地勘测管线的实际位置走向, 对报告未明确体现的管线进行补充。由项目总工程师组织技术人员运用CAD对管线及顶管井的实际坐标、高程、走向进行放样, 根据管线的位置, 在满足顶管井最小施工大小的前提下, 合理地调整顶管井的具体坐标, 根据CAD的调整位置现场放样施工。

(三) 采用预制混凝土检查井施工, 利用沉管技术整体下沉。采用沉管技术对顶管段检查井进行施工, 将预制的高强度混凝土管竖向下沉, 利用混凝土管作为检查井。沉管下沉施工前, 通过准确测量已完成的顶管中心线及沉管中心垂直线的距离, 确保沉管中心线与顶管中心线重合, 误差不超过 $\pm 5\text{cm}$ 。采用高压旋喷桩对井室周边土体及顶管管道底部进行预加固, 沉管下沉利用沉管的自重及预加重方法, 结合采用膨润土润滑护壁, 可使沉管顺利下沉, 沉管采用人工挖土排水下沉。沉管下沉到位后, 在顶管两侧人工挖土, 并浇筑混凝土强度C35的井室底板, 加大沉管底部的受力面积。完成后凿除顶管与沉管相交的圆弧面, 并采用顶管底部形成流槽。



沉管施工示意图

五、施工操作要点

(一) 施工测量

1. 组织测量工程师对测量控制点进行复测，复测无误后建立项目测量控制网，对工程项目进行点面结合的测量控制。

2. 根据设计图纸放出管线中心轴线、高压旋喷桩中心、顶管井尺寸坐标。

3. 确定桩机安装位置、顶管井及管线位置、规划作业场地。

4. 复核顶管井及管线坐标、管线与周边房屋的距离。

5. 测定高压旋喷桩位置，井室位置、井室高程、施工设施布置位置并复核；确定控制管道标高的控制点。

6. 根据施工图纸及现场实际地形设置地面控制桩，测出各控制桩的相对坐标，做好记录。

(二) 高压旋喷桩施工

采用高压旋喷桩双管法的施工，旋喷桩采用清水钻，施工水压约 10MPa，钻头达到设计标高后，用高压水洗孔，压力约 12~14MPa，冲洗切割泥土后，返回地面，喷入水灰比为 1:1 的纯水泥浆。水泥采用 P.042.5R 的普通硅酸盐水泥，喷浆时要求旋喷压力 20MPa，喷浆提钻速度 18~20cm/min，转速 25 转/min，并重复喷一次。旋喷体强度在土层中要求达到 2.5MPa 以上。

试桩：在正式进行施工之前应先做试验桩，以便掌握和调整施工工艺要求，待能满足设计要求时才能全面施工。

1. 施工流程

施工放线→钻孔→试喷→喷管安装→浆液配制与旋喷注浆

2. 钻孔

把钻机移动至钻孔位置，对准孔位用水平尺控制机台水平，立杆垂直、机架平稳、钻杆的垂直度满足精度要求，经技术人员验测合格后方可开钻。如发现钻杆倾斜，则停机找平后再开钻。钻孔结束后，由技术人员进行质量检查，合格后方可移位进行下一个桩位的钻进。

3. 试喷

下喷管之前于地面试喷，主要检查项目如下：

(1) 搅拌浆机在整个灌浆过程中，能连续均匀地拌和浆液，其拌和能力应大于最大设计灌浆量。

(2) 灌浆机应有足够的排浆量，其压力不小于最大设计压力的 1.5 倍。

(3) 将桩基移至成孔处，先在地面进行浆、气试喷，检查各项工艺参数符合设计要求后将喷管下至设计深度，经现场质检人员检查认可后方可进行高喷灌浆施工。

4. 喷管安装

(1) 喷管必须下至设计深度；

(2) 高压胶管及接头，其承受的极限压力应不小于工作压力的 3 倍；

5. 浆液制备与旋喷注浆

采用 P.042.5R 普通硅酸盐水泥搅制浆，水泥应为新鲜无结块，检验合格方可使用。旋喷桩每延米水泥含量大于 250kg，水灰比为 1.0。

按设计配比进行浆液配置，在制浆过程中应随时检测浆液比重，每孔灌浆结束后要计算材料用量。水泥浆

液用高速搅拌机搅制，拌制浆液必须连续均匀，搅拌时间不小于 60S，一次搅拌使用时间亦控制在 3h 以内。

(三) 顶管井施工

1. 顶管采用不排水下沉法，拟采用分节制作，分次下沉。沉井主要施工顺序：

(1) 制作第一节沉井：施工时先在场地上整平地面铺设垫木及砂垫层，铺设混凝土垫层，制作第一节沉井，节高 3.0 米。

(2) 挖土下沉：混凝土达到设计规定的强度后，采用长臂挖掘机挖土，井筒在自重作用下开始下沉。在井壁内挖土，边挖边下沉。要注意对称施工，防止不均匀下沉。

(3) 沉井接高下沉：由于顶管井的井深较高，分节制作接高下沉。

(4) 封底、浇筑钢筋混凝土底板：当井身下沉到设计标高时，在刃脚下嵌入木块或石块，防止过度下沉。随即用混凝土封底，然后浇筑钢筋混凝土底板。

(四) 实地勘探，使用 CAD 施工放样

先按顶管井原设计平面坐标点设置测量控制网，然后进行放线，并布置水准基点及沉降观测点。对在既有建筑物附近下沉的顶管井，应在既有建筑物上设沉降观测点，进行定期的沉降观测。

根据勘察单位出具的《地下管线探测技术报告》，结合与各管线管理单位开会共同确定的《地下管线交底报告》，然后组织专业测量技术人员使用管线探测仪根据相关的报告实地勘测管线的实际位置走向，对报告未明确体现的管线进行补充。

由项目总工牵头组织技术人员运用 CAD 对管线及顶管井的实际坐标、高程、走向进行放样，根据管线的位置，在满足顶管井最小施工大小的前提下，合理地调整顶管井的具体坐标，根据 CAD 的调整位置现场放样施工。

(五) 顶管施工

根据设计资料，按照设计文件要求及本单位类似工程施工经验，选用泥水平衡顶管机进行顶进施工。

1. 测量放样定位

首先对甲方提供的水准点和导线点进行复测，经监理认可后按已沉井到位的井进行测量放样定位，顶管井的中心点，井壁轮廓线等，同时在场内适当位置设置好临时的轴线控制点和水准控制点，作为顶管施工的控制依据。

2. 顶进过程中的轴线复核

在顶管施工中，由于激光发射器定期拆卸校对，重新按照定位销装上下来可能会有少许位移，在施工过程中需要定期调整激光束的方向。

3. 顶进施工流程

顶进利用千斤顶出镐在后背不动的情况下将被顶进管道推向前进，其操作过程如下：

(1) 安装好顶铁并挤牢，管前端已入土一定长度后，开启油泵，千斤顶顶升，活塞伸出一个行程，将管道推向一定距离。

(2) 停止油泵，打开控制阀，千斤顶回油，活塞回缩。

(3) 放入顶铁，重复上述操作，直至安装下一节管道顶进为止。

(4) 卸下顶铁, 下管, 采用 F 型钢筋混凝土管, 在接口处放止水胶圈, 以保证接口缝隙密封和受力均匀, 并采用其他防渗漏措施, 保证管与管之间的连接安全。

(5) 重新装好顶铁, 重复上述操作。

4. 采用预制混凝土检查井施工, 利用沉管技术整体下沉

沉管的施工采用排水人工挖土下沉的施工工艺, 使用手动卷扬机将洞内的挖土运出洞外, 具体的施工步骤如下:

(1) 为保证沉井制作均匀下沉, 先将检查井区域内的管线与表层土挖出。根据设计要求及考虑预制检查井下施工方便可行, 基坑底平面尺寸为直径 2 米圆形, 深 0.5 米, 按 1:1 放坡开挖。

(2) 根据测量放样坐标, 吊入第一节管道, 平稳精确下放到位。

(3) 采用高压旋喷桩对井室周边土体及顶管管道底部进行预加固

(4) 每节管道外壁涂刷黄油护壁, 使管道能更容易顺利下沉。

(5) 人工挖土下沉, 控制管道垂直度, 确保管道中心不偏离。

(6) 第一节管道下沉至与原地面齐平后, 吊入第二节管道, 管节处加入止水胶圈, 管接口内外使用 1:2 的水泥砂浆进行抹口处理, 外壁打膨胀螺丝并用钢筋焊接是两节管道连接牢固。

(7) 重复第四点步骤, 直至达到设计标高。

(8) 破除顶管管道, 使顶管管道与沉管垂直连接, 利用顶管未凿除部分作为流槽, 由此形成检查井。

(9) 制作检查井盖板, 安装井盖, 恢复路面。

(六) 沉降监测

在管道顶进的过程中, 工作人员要对地表沉降情况进行及时的监测, 避免出现严重的土地坍塌或地表沉降问题。首先, 工作人员要同步开展沉降监测工作, 及时地对管道顶进过程中的影响因素进行分析, 并在施工现场以顶管井为出发点, 沿途设置监测点, 并采用科学的机器设备, 采用传感器、定位系统等进行监测点的参数测量, 持续对目标区域的地表沉降量, 进行观测和分析, 以此判断管道在顶进过程中对周围土体结构、铺设管道造成的实际影响。其次, 在监测过程中, 要根据数据变化观察当地土体是否能够始终保持安全稳定的状态, 在横向变形时, 也要判断管道顶进对周围土体结构造成的影响, 从而在后续进行参数计算时, 能够具有准确的数据支持。

六、质量控制

(一) 高压旋喷桩

高喷施工时隔两孔施工, 防止相邻高喷孔施工时串浆。相邻的旋喷桩施工时间间隔不少于 48 小时。

采用 42.5R 普通硅酸盐水泥作加固材料, 每批水泥进场必须出具产品合格证明, 并按每批次现场抽样外检, 合格后才能投入使用。

浆液水灰比、浆液比重、每米桩体掺入水泥重量等参数均以现场试桩情况为准。

(二) 顶管施工

泥水平衡顶管允许偏差表

序号	项目		允许偏差 (mm) 范围	检查频率		检验方法
				点数		
1	中线位移	D < 1500	≤ 30	每节管	1	测量并查阅测量记录
2		D ≥ 1500	≤ 50			
3	管内底高程	D < 1500	+30 ~ -40	每节管	1	用水准仪测量
4		D ≥ 1500	+40 ~ -50			
5	相邻管间错	混凝土管	d15% 且不大于 20	每个接	1	用尺量
6		钢管	< 2	对顶接	1	用尺量

(三) 沉管下沉

在沉管下沉的过程中要加强对预制沉管井身的垂直度以及中心坐标的测量监控, 发现倾斜或者偏离及时纠正, 发现倾斜后, 在高的一侧加强挖土或加重物压沉, 低的一侧减少挖土或不挖土, 如果发现管道偏离, 则利用管道的倾斜下沉及时修正沉管的中心坐标, 修正后再纠正沉管的倾斜度, 待正位后再均匀分层取土, 沉管下沉过程中应做到“勤纠、勤测、缓纠”。

结语

污水主干管网穿越城乡房屋密集地区顶管关键技术是顶管工程在城乡房屋密集地区施工过程中, 根据现场最大允许施工区域大小的实际情况, 采用高压旋喷桩对顶管沿线房屋进行预支护, 防止顶管过程对周边建筑物造成沉降位移等影响, 根据现场的情况及地下管线的走

向, 利用 CAD 放样施工, 调整顶管井尺寸, 避免了对地下管线的迁移, 有效地提高工作井的施工进度, 同时更有效地保护周边的地下管线, 有效地提高施工的安全性, 用预制混凝土检查井施工, 利用沉管技术整体下沉, 减少占地面积, 提高施工安全性, 加快了施工工期, 提高了经济效益。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 给水排水管道工程施工及验收规范: GB 50268-2008. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.

[2] 高玉起, 卢冰, 张帅. 非开挖顶管施工技术在市政工程中的应用 [J]. 四川水泥, 2022(01): 174-175.

[3] 王罗程, 杨转运, 刘会, 等. 顶管人孔检查井沉管施工工艺 [C]// 非开挖技术. 2007: 101-105.