

城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术

张浩然，戴成林

(山东信晟科技有限公司，山东 东营 257000)

摘 要 城市给排水管网工程建设由于受城市空间限制、地下管线复杂、交通流量大以及地质条件多样等因素影响，导致城市给排水管网建设进度与质量受到制约。为提升城市给排水管网超大直径钢顶管施工效率，确保建设效果达标，本文分析了超大直径钢顶管施工技术特点，从地质勘察、设备安装、顶进作业等方面解析了超大直径钢顶管施工工艺。研究表明：通过该技术能够减少对地面交通和周边环境的影响，缩短施工周期，降低施工成本，同时保证管道安装的精度和质量，提高城市给排水管网的整体性能。

关键词 城市给排水管网；超大直径钢顶管；顶进作业；管道敷设；顶管机接收与拆除

中图分类号：TU991.05；TU992.05

文献标志码：A

DOI：10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.014

0 引言

城市给排水管网是重要的基础设施，其建设与运营效果关系到居民生活质量以及城市运行效率。传统给排水管网施工过程中需要进行大面积开挖作业，对地面交通、周边环境产生巨大影响。在现代工程技术不断发展的背景下，城市给排水管网施工中采用超大直径钢顶管施工技术，能够避免开挖作业，并且施工速度快、效率高、地面干扰小、不影响交通，已经成为城市给排水管网施工的关键技术。但是超大直径钢顶管施工技术现场操作难度较高，地质条件复杂，设备选型难度大，一旦操控不当极易造成严重的质量和安全隐患。因此，本文深入分析城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术，并充分验证施工技术实践效果，旨在提高城市给排水管网的建设和运营水平。

1 城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术特点

超大直径钢顶管施工技术采用主顶油缸和管道中继间提供足够推力，使用工具管、掘进井从工作井内穿越土层一直推进到接收井内部吊起。同时，利用工具管或者掘进机后部管道埋设在两井之间，达到非开挖敷设管道的效果。

1.1 对地面影响小

超大直径钢顶管施工技术并不会对地面产生过大扰动影响，现场施工速度快、效率高。传统开挖施工方式需要大面积破坏地面，造成施工中断、周边建筑受损，也会给人们的正常生活造成不利影响。而超大直径钢顶管施工技术采取非开挖方式，只需要在工作井和接收井之间局部开挖，减小地表开挖作业量。它在施工过程中可避免对地面交通产生影响，地面交通

可以正常通行，周边商业活动和居民正常生活基本不受干扰。同时，它在施工阶段可降低对土体以及植被的干扰，减少水土流失、扬尘污染，能够充分保护城市生态自然环境，尤其在城市中心交通繁忙的地段、地表环境要求较高的区域施工应用价值较高^[1]。

1.2 施工速度快

超大直径钢顶管施工技术施工速度快，能够有效缩短工期，达到降低成本的目的。它在施工阶段不会受到交通、天气的外部因素干扰，现场施工作业具备连续性、运行稳定性等特点。顶管机安装后能够持续顶进管道运行，多个工序紧密配合，可大幅缩短现场施工工期。与传统开挖方式相比，它不需要进行大范围的土方开挖以及回填作业，可缩短中间环节。同时，超大直径钢顶管施工技术应用的设备比较先进，采取自动化控制方式提高效率，可快速完成管道铺设任务。

1.3 管道敷设精度高

超大直径钢顶管施工技术在应用阶段管道敷设精度较高，主要是因为系统内配置先进的测量和导向系统，能够实时监控和调整顶管机顶方向、坡度以及位置，使管道按照设计方案精准敷设。管道敷设精度较高，能够防止施工阶段发生管道偏移错位的情况，确保管道连接的质量合格，整体施工效果得到提升。同时，精准的管道位置为后续维护以及管理提供便利条件，防止因为管道位置存在偏差而产生安全隐患。

2 城市给排水管网超大直径钢顶管施工准备工作

2.1 地质勘察

城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术应用阶段需先开展地质勘察，充分了解现场地质条件，主要

包含土层类型、含水量、地下水位、土层物理力学性质。地质勘察阶段需确定具体的施工方案和技术，如顶进力、注浆压力，确保各项参数合格，满足现场施工要求。

2.2 设备安装

在超大直径钢顶管施工技术应用过程中，设备准备和安装极为重要，尤其是顶管机需要落实性能参数检测工作，各项指标合格后才能开展现场施工作业。为保证施工效果达到要求，在施工环节要做好基础细致的处理，使其平整度偏差在 ±5 mm 以内，确保顶管机运行时基础支撑具备稳定性。组装阶段各部件安装精度要严格控制。例如：主顶油缸中心线和顶管机中心线同轴度偏差在 3 mm 以内，使得顶进作用力传递顺畅。顶管机运行时不会发生偏移问题，刀盘安装角度误差在 ±0.5° 以内，使刀盘角度具备较高精准性，能够高速切削土体、减少作业阻力。同时，各连接位置螺栓拧紧力矩符合设计标准，通常与设计方案偏差应为 ±10 N·m 以下。组装结束后对顶管机的安装效果以及整体性能进行调试检测，并且模拟正常运行条件，从而确保顶管机各项性能达到设计标准^[2]。

3 城市给排水管网超大直径钢顶管施工关键技术

3.1 顶进作业

1. 初始顶进。在超大直径钢顶管施工技术应用过程中，初始顶进作为起始步骤，其顶进作业效果对于后续施工效果存在直接影响。初始顶进开始前需对设备展开全面检查和调试，确保各项性能参数处于最佳状态。初始顶进阶段要先将顶进力缓慢增加到 80 kN，该参数需要根据管道直径、地质勘察报告、顶管机额定顶力综合计算确定，避免瞬时高压导致土层扰动或设备超载。同时，顶进施工中要严格控制顶进作业速度，将其设定为 3 mm/min 以内，并且由技术人员时刻关注顶管机速度。顶进作业阶段要时刻关注刀盘的扭矩变化情况，确保扭矩在 120 kN·m 以内。如果在现场监测发现扭矩严重超出标准，说明刀盘在切削时遇到障碍物或者土体阻力较大，需要进行顶进参数调节或者采取必要措施进行处理。顶进作业阶段要先顶进 5 m 左右深度，然后暂停顶进，由技术人员检测顶管机姿态、

管道连接情况、周边土体稳定性，使得顶管机的轴线偏差在 ±10 mm 以下。

2. 正常顶进。超大直径钢顶管施工作业进入正常顶进环节，需要严格控制各项技术参数，进而提高施工效率以及现场安全性。进入正常顶进环节后，需将顶进力控制在 1 200 ~ 1 800 kN 之间，具体数值根据顶进距离、地质条件、管道规格进行调整。例如：顶管作业阶段遇到坚硬土层时，顶力应适当增加，但要控制在 1 800 kN 以内，防止管道受到过大的作用力而产生变形。

在顶进过程中要严格控制顶进速度，将其设定为 6 ~ 10 mm/min 以内。该速度能保证顶进施工效率合格，且有足够的时间进行顶进环节监控和调整。如果顶进速度过快，需要按照实际情况调节顶管机姿态，防止轴线偏差过大影响后续作业。如果顶管机速度过慢，会影响顶进作业效率，存在工期延误的情况。正常顶进阶段，根据大直径钢顶管施工技术要求，每顶进 15 m 需要进行一次轴线测量。在管道轴线测量阶段，按照技术标准，其偏差为 ±12 mm 以内。如果超出该标准值，应立即停止，分析形成原因并采取纠偏措施，如调整顶进方向、增加一侧顶力，使得顶进作业按照规定轴线顺利敷设^[3]。

3. 中继间使用。城市给排水管网超大直径钢顶管施工阶段，中继间能够提供足够顶进力，使顶进作业效率合格。中继间在设置时通常将其布置在管道中间适宜位置，安装过程中精准操作，确保与管道连接达到紧密性、稳固性要求。顶管作业阶段中继间和主顶设备协同作业，当主顶设备输出顶力不足以克服前方阻力时，中继间立即启动并发挥接力顶进的作用。中继间提供足够顶力传递到前方管道，使顶管机能够稳步向前推进。中继间在使用中能实时监测工作状态，掌握液压系统的压力变化、活塞行程等。如果检测发现压力不稳定或者行程不到位，要及时采取措施。同时，中继间和管道之间的密封极为重要，需保证其密封效果合格，避免出现泥浆、地下水进入中继间内部而导致设备损坏（见表 1）^[4]。

随着顶进作业逐步进行，中继间由于长期作业容易出现磨损、疲劳的情况，无法满足顶进作业要求。

表 1 中继间要求

项目	要求
中继间额定顶力	根据工程实际设计确定，一般需满足接力顶进时克服前方阻力要求，例如常见为 3 000 ~ 5 000 kN（具体按实际项目计算）
中继间行程	单次行程通常在 1.5 ~ 2.5 m 之间，可根据管道顶进需求和设备能力调整
中继间启动压力	一般设定在额定压力的 60% ~ 70%，比如额定压力 25 MPa 时，启动压力约 15 ~ 17.5 MPa

根据顶进施工技术标准,需要及时进行中期检查和维护处理,使其时刻保持在最佳运行状态。

3.2 管道铺设

1. 管道吊装与对接。城市给排水管网在管道吊装前需要做好设备准备工作,使得设备起重能力超过管道重量的1.5倍,确保现场吊装作业安全性。吊装施工选用专用设备进行,并且吊具要具备较高的强度和稳定性,缓慢吊装设备使管道处于水平状态,水平度偏差在 $\pm 20^\circ$ 以内。管道吊装到对接位置上部0.5 m处,缓慢将管道下放到规定位置对接。管道对接的过程中使用定位装置,确保管道轴线偏差在5 mm以下,管道对接的连接强度合格。管道对接的过程中对接位置间隙为2~4 mm,过大或过小都会对连接质量造成不利影响。管道对接结束后进行临时固定,避免后续施工中发生位移^[5]。

2. 管道接口处理。管道接口处理关系到城市给排水管道运行的密封性以及整体性,所以需要全面落实各项控制措施。管道对接前要做好对接位置清理处理,将油污、铁锈等杂质清理干净,使其管口位置清洁度超过Sa2.5级。而后,管道对接口位置上设置橡胶密封圈,压缩率要达到15%~20%以提高密封效果。管道对接如果选择使用螺栓连接方式,螺栓拧紧力矩超过250 N·m,相邻螺栓拧紧力矩偏差在 ± 10 N·m以内,使接口位置具备牢固性、可靠性。接口处理结束后进行水压试验,为工作压力的1.5倍以上,保持30 min,且接口位置没有渗漏问题,说明接口位置施工效果合格。

3.3 注浆作业

城市给排水管网超大直径钢顶管施工阶段,注浆作业极为重要,需要将管道周边空间进行填充,避免在使用过程中引发地面沉降问题。注浆作业阶段,压力控制极为关键,使其保持在0.2~0.3 MPa之间,能够稳定填充空隙,并且保证强度合格。注浆作业阶段需要根据管道直径、顶管速度精准计算确定注浆量,每顶进1 m管道注浆量为0.15~0.2 m³,确保各孔隙位置填充达到密实度要求。注浆材料的选择极为重要,选择使用水泥—水玻璃双液浆,水泥与水玻璃体积比为1:0.8~1:1.2之间,使得浆液材料具备较强的流动性和凝固性能,快速填充空隙,使得管道有足够的支撑条件。同时,注浆施工阶段要做好效果监测,并且掌握地面沉降以及管道周围土地变化情况,调整注浆参数。如果地表沉降量在10 mm以上,应立即增加注浆量或者调整注浆压力。

3.3 顶管机接收与拆除

1. 顶管机到达接收井。顶管机作业临近接收井位置时,需要严格控制顶管参数,确保顶管机能够顺利

进入接收井内。顶管机顶进作业距离到接收井5 m左右时,将顶进作业速度调整到2 mm/min以下,防止速度过快引发顶管机姿态失控或者撞击接收臂。同时,利用测量系统实时监测顶管机的位置和状态,轴线偏差在 ± 10 mm以内,使顶管机能够顺利进入接收井内。顶管机前部与接收井距离在1 m左右时暂停顶进,并且进行接收井支撑装置的检查和加固,使其能够承受接收机的重量以及冲击力。而后,缓慢向前顶进作业,直到完全进入接收井内,此时前端和接收井壁保持0.3~0.5 m距离,使得现场有足够的空间,也能达到安全性要求。

2. 顶管机拆除与吊运。在城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术应用过程中,顶管机拆除与吊运是最后环节,需要严格按照规程进行。根据顶管机特性进行解体,使其拆分为能够顺利吊运的部件。同时,选用专用工具,使得各部件不受损坏。针对结构部件重量较大的情况,如主顶油缸单个重量为8 t左右,需要使用10 t以上起重能力的设备吊装。吊运前对吊具展开检查,吊索直径20 mm以上,且吊索和部件夹角为 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间。吊运阶段保持部件水平偏差在 $\pm 5^\circ$ 以内,缓慢将其下放到指定地点,避免发生碰撞、晃动造成部件损坏。

4 结束语

城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术能够提高施工效率,采取非开挖方式完成给排水管网的敷设作业,避免对城市交通以及地面建筑造成过大扰动影响。超大直径钢顶管施工要做好施工前准备工作,确保施工技术能够有序落实,提高施工质量,营造安全的施工环境,并且避免对周边环境造成不利影响。随着工程技术不断发展进步,超大直径钢顶管施工技术应用范围日益扩大,能够满足给排水管网建设和运营需求。

参考文献:

- [1] 谭福平.市政给排水施工中顶管技术的应用[J].居舍,2022(12):51-53.
- [2] 狄传纲.顶管技术在市政给排水施工中的应用:以通沪大道管道迁改工程为例[J].江西建材,2022(06):205-206,211.
- [3] 邢照亮.市政道路给排水工程顶管施工技术研究[J].建筑技术开发,2024,51(08):57-59.
- [4] 黄小庆,亢泽.给排水长距离顶管施工技术的优势及风险[J].河北建筑工程学院学报,2024,42(03):136-140.
- [5] 蔡国圉.长距离顶管施工技术在市政给排水施工中的运用[J].上海建材,2024(05):113-116.