

非开挖短管置换修复施工技术在市政管网局部修复中的应用

陈 宁

中国一冶集团有限公司 湖北 武汉 430080

【摘 要】：市政地下管网长期服役，受地基沉降、土壤腐蚀、外部荷载及管材老化等因素影响，易产生裂纹、破损、变形甚至局部坍塌病害。针对局部严重损坏管段，传统开挖更换工艺工期长、造价高，还会扰动地面交通与周边环境。本文依托专利集成化顶管设备介绍非开挖短管置换修复施工技术，该设备集成升降单元、顶推单元与带定位模块的顶头单元，实现顶推高度无级精细调节、多管径短管自适应定心夹持，提高顶进对中精度与一次顶进成功率。结合广信区全域污水处理建设项目实践，阐述该施工工艺原理、工艺流程、关键控制要点及综合效益。工程实践表明，该技术地面扰动小、管径适配范围广、施工效率高，在交通繁忙、施工环境受限的城市管网局部修复工程中有较高推广价值。

【关键词】：市政管网；非开挖修复；短管置换；自适应顶头；无级升降对中；顶推施工

DOI:10.12417/2705-0998.26.13.011

引言

城市排水、供水、燃气等市政地下管网是城市重要基础设施。管网长期运行过程中，地基不均匀沉降、土壤腐蚀、地面荷载、管材老化等多重因素，会造成管道局部破损、开裂、变形，严重时发生管段坍塌。对局部病害管段，传统明挖更换需要大面积破除路面、开挖沟槽，不仅工期长、造价高，还会干扰城市交通，影响居民与商业活动，同时存在损伤邻近地下管线的风险，非开挖局部修复技术由此成为市政管网改造的重要发展方向。

现有短管置换顶管设备多采用固定式焊接框架，高程调整依靠钢板、木板垫块人工找平，调节精度差，难以适应多变管道埋深；顶头大多按特定管径定制，变换施工管径需要整体拆装顶头部件，工序繁杂，制约施工效率与灵活性。

针对以上技术痛点，中国一冶集团有限公司江西分公司依托发明专利《适用于非开挖短管置换修复的顶管设备及其使用方法》，结合广信区全域污水处理建设项目现场实践，形成非开挖短管置换修复施工技术。配套设备实现高度无级调节、多管径自适应夹持定心，优化顶推导向结构，提升顶进稳定性，可完成多材质、多规格管道局部置换修复，为城市受限环境下管网局部修复提供可行技术路径。

1 技术特点

- (1) 顶推高度无级调节，轴线对中精度高。
- (2) 顶头管径自适应，管材兼容性强。
- (3) 顶推运行平稳，抗偏摆能力强。
- (4) 工序准备时间短，综合效益突出。

2 适用范围

该技术用于市政排水、供水、燃气地下管网局部破损、开裂、变形、坍塌管段的非开挖置换修复，尤其适合以下工况：

- (1) 管道埋深变化大、待修复管道管径种类多的短管置换项

目；(2) 地面车流量大、周边建构筑物密集，不具备大面积明挖条件的区域；(3) 适用于混凝土管、铸铁管、塑料管、复合管道置换，实际适配管径以设备选型为准；(4) 适用于短距离单根或多根连续短管顶进置换，单根短管长度结合现场工况确定。

3 工艺原理

3.1 升降对中原理

升降单元以箱式底座为承载基体，电机驱动双向反向螺纹丝杆，两组镜像滑块同步反向平移，联动支杆把水平运动转化为顶板垂直升降，带动顶推、顶头单元整体调节高程。滑块配置导向块约束运动轨迹，保证升降平稳。顶板配备多根导向杆，高程到位后拧紧底座螺栓压紧导向杆，锁死顶板。底座设置连接件，利用锚杆锚固在坑底，抵消顶推反力，防止设备滑移倾覆。

3.2 管径自适应定心原理

顶头定位模块依靠蜗轮蜗杆实现自锁传动。电机驱动蜗杆带动蜗轮在支撑盘内腔旋转；蜗轮端面开设多道周向均布弧形滑槽，拨动连接杆带动导向杆沿支撑盘径向滑槽同步滑移。弧形滑槽导程一致，各组导向杆及抵板同步收缩扩张，保证夹持后短管与支撑盘同轴。连接杆端部设置防脱出凸块，提升机构运行可靠性；蜗轮蜗杆自锁可稳定保持夹持位置。

3.3 短管限位夹持原理

升降单元将支撑盘调整至与待置换短管同轴，定位模块抵板从短管内壁或者外壁完成夹持限位。同一导向杆设置两组抵板，两组抵板间距等于导向杆最大径向行程，连续覆盖大小管径区间。弧形抵板配置弹性保护层，让顶推力均匀分布，避免应力集中损坏管端口。顶推单元输出端和支撑盘可拆卸连接，拆装维护便捷。

3.4 顶推导向原理

液压缸本体通过支撑杆固定导向环, 活塞推杆同轴穿过导向环。导向环内壁盲孔依次布置蝶形弹簧、滚珠底座、滚珠; 蝶形弹簧预紧力让滚珠持续贴合推杆, 将滑动摩擦转变为滚动摩擦, 降低运行阻力。蝶形弹簧同时补偿零部件磨损间隙, 吸收径向偏移扰动, 保证顶推力沿预设管道轴线传递, 减少活塞杆抖动偏摆。

4 工艺流程及关键操作要点

4.1 施工工艺流程

施工准备→工作坑开挖与支护→设备吊装就位与锚固→设备高度调节与对中→定位模块调节(管径适配)→短管装夹与限位→顶推置换→顶推单元复位→质量检查→(多根短管循环置换)→设备拆除吊离→工作坑回填与路面恢复

4.2 关键操作要点

4.2.1 施工准备

开展现场勘察, 探明管道埋深、管径、材质、病害位置与损坏程度, 收集地下管线、地质、地下水资料。结合图纸编制专项施工方案, 明确顶进参数、施工顺序、安全技术措施及应急预案。进场调试整套设备, 检查升降单元、蜗轮-蜗杆-连杆机构运行状态, 核查抵板伸缩同步性; 检验液压系统密封性, 检查滚珠、蝶形弹簧磨损情况, 提前更换不合格构件。

4.2.2 工作坑开挖与支护

在破损管段两端开挖始发坑与接收坑, 坑体尺寸满足设备吊装和人员操作, 坑底平整坚实。结合地质条件、开挖深度选用钢板桩、锚喷等支护, 保障坑壁稳定。坑底设置排水沟、集水坑及排水设备, 保持坑底干燥。始发坑设置后背反力墙, 墙面平整且垂直顶进轴线, 具备足够抗压能力承受顶推反力。

4.2.3 设备吊装就位与锚固

将顶管主机吊装至始发坑预定位置, 顶推单元轴线大致对齐旧管道轴线。锚杆穿过底座连接件通孔将整机锚固于坑底, 防止顶推时滑移倾覆。安装后背墙与液压缸之间传力构件, 保证反力传递通畅。

4.2.4 设备高度调节与对中

电机驱动丝杆、联动支杆抬升顶板及顶推机构, 水准仪监测支撑盘中心高程, 精细调节使支撑盘和短管垂直方向精准同轴; 调节完成拧紧紧固螺栓锁定整机高度。

4.2.5 定位模块管径适配调节

依据短管公称直径, 选定内壁夹持或外壁夹持模式, 选用对应抵板。电机驱动蜗轮蜗杆带动导向杆径向移动, 使抵板匹配短管内径或外径; 检查各组抵板位移同步性, 确认连接杆无脱出风险。

4.2.6 短管装夹与限位

将置换短管放置支撑盘前方, 管端面贴合支撑盘, 管道初步对齐顶推轴线。启动电机使抵板径向压紧短管端口, 完成定心夹持, 保证短管与支撑盘同轴, 检查弹性保护层贴合状态, 防止局部应力集中。

4.2.7 顶推置换作业

启动液压泵站, 液压缸推杆伸出, 依靠支撑盘与定位模块向短管尾部均匀施加顶推力。控制顶推速度平稳, 实时观察短管姿态; 及时清理旧管内破碎管片与土体, 保障通道通畅。短管顶至设计位置停止作业, 检查新短管和原有完好管道对接质量。

4.2.8 复位及连续置换

单次顶进完成后推杆退回复位。同一坑位进行多根短管置换时, 循环开展对中、管径适配、装夹、顶推工序。每完成一节短管顶入, 检测管道高程、轴线偏差以及接口密封性能。

4.2.9 设备拆除及现场恢复

全部置换施工结束, 拆除锚杆、传力构件, 吊离顶管设备。按设计分层回填夯实工作坑, 恢复路面及附属设施。

5 材料与设备配置

5.1 主要材料

置换短管可采用混凝土、铸铁、塑料、复合管材, 管材强度、接口尺寸、密封性能满足设计; 锚杆选用 HRB400 级 $\Phi 20$ - $\Phi 32$ 钢筋; 配套橡胶密封圈具备耐老化耐腐蚀性能; 采用膨润土泥浆或聚合物材料作为管壁减阻润滑剂; 后背墙垫板采用厚度 20-40mm 的 Q235 钢板; 抵板防护层选用 5-10mm 厚聚氨酯材料, 抗压强度 $\geq 30\text{MPa}$ 。

5.2 主要设备

顶管主机 1 台, 含升降单元、顶推单元、带定位模块顶头单元, 设备顶推力 $\geq 500\text{kN}$; 液压泵站额定压力 $\geq 31.5\text{MPa}$; DSZ2 水准仪、 $\pm 1\text{mm}$ 精度激光测距仪用于监测高程位移; QY 潜水泵用于基坑排水; 16-25t 汽车吊完成设备吊装; 配套基坑支护构件、成套扭矩扳手。

6 质量控制措施

(1) 轴线对中质量控制。设备就位后水平轴线偏角 $\leq 0.5^\circ$; 水准仪监测高程, 支撑盘中心高程调节精度 $\pm 2\text{mm}$; 夹持完成复核同轴度, 同轴偏差 $\leq 2\text{mm}$ 。

(2) 管径适配夹持质量。按管径选用内壁/外壁夹持模式; 各组抵板径向位移同步, 抵板-管壁间隙偏差 $\leq 1\text{mm}$; 弧形抵板和管壁接触面积不小于抵板总面积 80%。

(3) 顶推过程管控。顶推速度控制 $0.1\sim 0.3\text{m/min}$, 最大不超过 0.5m/min ; 实时采集顶推力、推杆行程, 顶推力突变立

即停机排查。单节短管就位,轴线偏移 $\leq 30\text{mm}$,高程偏差 $\pm 20\text{mm}$ 。

(4) 接口密封与验收。密封圈进场检查,不得有裂纹、气泡、扭曲缺陷;接口完成后开展闭水或闭气试验,渗漏量满足规范。整体验收执行《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268 相关规定。

7 安全与环保节能措施

7.1 安全保障措施

作业前开展安全技术交底,作业人员佩戴安全帽、防护鞋等防护用品;基坑周边设置防护栏杆、安全网、警示标识,夜间布置警示照明。基坑开挖支护严格执行专项设计,坑内设置专用爬梯;做好坑内排水,避免地基泡水。设备操作人员经专项培训上岗;吊装作业吊臂下方禁止站人;锚杆紧固扭矩达标,防止设备倾覆滑移;液压系统压力严禁超过额定压力 110%;顶推作业人员不得站在顶进轴线危险区域。现场用电落实漏电、接地保护,电气液压设备做好防雨防潮,执行《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46。

7.2 环保及节能措施

施工现场围挡高度 $\geq 2.5\text{m}$;土方作业洒水降尘,裸土覆盖防尘网;渣土车辆冲洗轮胎,渣土加盖篷布。高噪声液压泵站增设隔音罩;合理规划施工时段,夜间噪声符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB12523,提前告知周边居民。旧管碎块、施工泥浆分类处置;废液压油、废旧密封圈等危险废物交由有资质单位处理;回填优先使用开挖原土,减少弃土外运。选用节能电机与液压系统,合理匹配功率;管壁施加减阻润滑剂降低顶进阻力;组织连续作业,减少设备空载、频繁启停。

8 工程应用

8.1 广信区全域污水处理建设项目(EPC+O)

项目包含乡镇污水管网新建、老旧管网修复改造,建成区内老旧管道存在破损渗漏、接口错位病害,待修复管段总长约 850m,涵盖 DN300、DN400、DN600 混凝土管与 HDPE 双壁波纹管。施工线路经过市政道路、居民区,场地受限,需要严格控制交通影响。项目采用本文非开挖短管置换技术,投入专利顶管设备一台,完成置换管段 820m,其中 DN300 共计 380m, DN400 共计 290m, DN600 共计 150m。依靠升降机构快速高程对中,定位模块切换夹持模式适配多种管径,导向组件保障

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:GB50268-2008[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准:JGJ/T46-2024[S].北京:中国建筑工业出版社,2024.
- [3] 中华人民共和国生态环境部.建筑施工噪声排放标准:GB12523-2025[S].北京:中国环境科学出版社,2025.

推杆运行稳定。项目一次顶进合格率 97.5%,管径切换、设备调平准备时间相比传统工艺显著缩短。施工期间未中断道路交通,未损伤周边地下管线,安全环保指标达标,置换管段闭水试验全部合格,管道轴线高程符合设计及规范。

9 效益分析

9.1 经济效益

(1) 降低设备投入。传统工艺需要配置多套不同规格顶头组件适配各类管径;本技术依靠一套主机与自适应定位模块即可完成多管径施工,减少设备购置、租赁成本。(2) 缩短工期。设备高度无级调平,管径切换依靠电机调整夹持机构,无需拆装零部件,压缩施工准备与工序间歇时间,多管径管网改造工期优势突出。(3) 减少返工损耗。顶推同轴度高,推力分布均匀,降低短管偏斜、管口挤压破损、密封圈损坏等质量缺陷,一次顶进成功率高,节约返工带来的人工、材料、机械台班消耗。

9.2 社会效益

(1) 降低城市交通干扰。仅开挖小型始发、接收工作坑,无需大面积破路,适合主干道、繁忙路口管线修复,降低管网改造对城市运行的干扰。(2) 减小环境扰动。相比明挖,弃土产量小,扬尘噪声可控,降低对居民生活、商业活动的影响,属于环境友好型修复技术。(3) 保护既有地下管线。无需大范围开挖、迁改周边管线,降低管线破坏风险,保障地下管网运行安全。(4) 促进行业技术进步。集成专利顶管设备解决传统短管置换设备调平繁琐、更换顶头耗时长的痛点,为市政管网非开挖局部修复提供高效解决方案,示范与推广效果好。

10 结论

针对市政管网局部破损管段,基于专利设备的非开挖短管置换修复技术,通过升降单元实现顶推高度无级调平锁止,蜗轮蜗杆-多连杆定位模块实现多管径短管自适应定心夹持,顶推单元滚珠-蝶形弹簧导向机构抑制活塞杆偏摆抖动。工程实践表明,该技术地面扰动小,兼容混凝土、塑料、铸铁等多种管材,一次顶进成功率高,施工质量可控。在交通繁忙、建构物密集、开挖受限的城市区域,该技术可以有效压缩工期、节约造价,降低对城市生活的干扰,在市政管网更新改造领域具备广阔推广应用价值。