

市政给水排水不开槽设计及施工技术的应用

罗毓刚

610481*****2615

摘要: 不开槽技术作为一种非开挖或少开挖的现代化施工方法,以其对地面交通影响小、施工周期短、环境影响低、综合效益高等显著优势,在市政给水排水管道的新建、改建、扩建及修复工程中得到了日益广泛的应用。本文系统阐述了市政给排水工程中主要的不开槽设计原则与关键施工技术,包括顶管法、盾构法、定向钻法、夯管法及管道修复与更新技术的技术特点、适用条件、设计要点与施工流程。通过分析各类技术的应用场景与典型案例,探讨了其在应对复杂地质条件、穿越重要构筑物、保护周边环境等方面的优势,并指出了当前技术应用在规划协调、设计精度、设备依赖及成本控制等方面存在的挑战。最后,对未来不开槽技术的智能化、绿色化、标准化发展趋势进行了展望,以期为我国市政给排水工程的高质量、可持续发展提供参考。

关键词: 市政给排水; 不开槽技术; 非开挖施工; 顶管法; 定向钻; 管道修复; 设计要点; 施工应用

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.065

引言

市政给水排水管网是城市“生命线”与“静脉系统”,其安全、高效运行对保障居民生活、支持工业生产、维护生态环境作用不可替代。长期以来,明挖开槽施工是敷设和维修地下管线主要方式。但在当今高度集约化发展的城市空间中,大规模开挖施工负面影响凸显。且随着社会对环保、资源节约和城市正常运转要求提高,传统施工方式局限性更突出。在此背景下,不开槽施工技术(非开挖技术)应运而生并迅速发展。该技术利用岩土钻掘等手段,在地表不开挖或仅开少量工作井条件下完成地下管线铺设等。自20世纪后期引入我国,经数十年研究创新,不开槽技术已从试验性应用发展成市政给排水工程建设关键技术。它解决特定环境施工难题,有显著综合效益,代表现代城市地下工程施工技术发展重要发展方向。

1 不开槽技术的主要类型及其设计施工要点

1.1 顶管法施工技术

顶管法是在工作坑内,借助顶进设备产生的顶力,克服管道与周围土体的摩擦力,将预制管节按设计轴线逐节顶入土中,同时通过掘进机头开挖前方土体并运出,直至贯通接收坑的施工方法。

技术特点与适用条件: 顶管法施工精度较高,适用于管径较大(DN800以上)、埋深较深、需要直线或大半径曲线敷设的钢筋混凝土管、钢管、玻璃钢夹砂管等。广泛用于穿越公路、铁路、河流、建筑物以及城市主干道下的给排水主管工程。其对土质的适应性较强,通

过选择不同类型的机头(如土压平衡式、泥水平衡式、敞开式等),可应对从软土、砂土到软岩等多种地层^[1]。

设计要点: 顶力计算与中继间设置:精确计算管道顶进所需的总顶力是设计核心。顶力与管径、管道长度、土质、地下水、润滑减阻措施等因素密切相关。当顶力超过主顶千斤顶能力或管节承压能力时,必须在线路中间设置中继间,实行分段顶进。工作井与接收井设计:井位的选择需综合考虑地形、地质、管线走向、周边环境及交通条件。井体结构(常采用沉井、地下连续墙、钢板桩等形式)需进行严格的支护与稳定性计算,确保施工安全。轴线与高程控制:设计需明确管道允许的轴线偏差和高程偏差。施工中需采用激光导向、陀螺仪等测量系统进行实时监控与纠偏。注浆减阻设计:为降低管壁与土体间的摩阻力,通常在管道外壁与土体之间注入特制的润滑泥浆,形成稳定的泥浆套。浆液配比、注浆压力和注浆孔布置需专门设计。

施工流程与关键控制: 主要流程包括施工准备、工作井/接收井施工、设备安装(主顶系统、掘进机头、排土系统、测量系统等)、管节顶进、注浆减阻、洞口处理、贯通后设备拆除及井室处理。施工中需严格控制顶进方向、掘进面土压平衡(对于平衡式顶管)、出土量、注浆效果,并实时监测地面沉降,及时调整施工参数。

1.2 盾构法施工技术

盾构法是一种采用盾构机在地下掘进,同时在尾部拼装预制管片(衬砌),形成隧道结构,然后在隧道内安装给排水管道的施工方法。有时也可直接将盾构机作为承载结构(一次衬砌)。

技术特点与适用条件：盾构法机械化程度高、施工速度快、对周围土体扰动小、成型隧道质量好。但其设备昂贵、施工组织复杂、始发与接收技术要求高。主要适用于长距离、大埋深、大直径（通常 DN3000 以上）的给排水隧道，特别是在地质条件复杂（如高水压、软弱不均地层、硬岩）或穿越重要敏感区域时优势明显。

设计要点：盾构机选型：根据地层渗透系数、地下水压力、土体稳定性等，选择土压平衡盾构、泥水平衡盾构或复合式盾构。刀盘形式、开口率、推进系统等需与地质相匹配^[2]。管片衬砌设计：管片是隧道的永久支护结构，需进行管片厚度、分块、连接方式（螺栓连接、榫槽连接等）、防水密封（弹性密封垫）等设计，确保结构强度、防水性能及拼装精度。隧道轴线与线路设计：虽然盾构机可实现曲线掘进，但设计时应尽量采用平缓的曲线半径，以减少施工难度和管片受力。

施工流程与关键控制：主要包括端头加固、始发/接收基座安装、盾构机组装调试、始发掘进、正常掘进（开挖、出土、管片拼装、壁后注浆）、到达接收、解体吊出。关键控制点包括掘进参数（推力、扭矩、掘进速度）管理、土仓压力或泥水压力控制、同步注浆的及时性与充填度、管片拼装精度以及地表和构筑物变形监测。

1.3 水平定向钻穿越技术

水平定向钻技术利用可导向的钻探系统，先钻一个导向孔，然后通过扩孔将孔径逐步扩大至设计尺寸，最后将预制管道回拖敷设就位。

技术特点与适用条件：该技术施工速度快、周期短、综合成本较低、地表占用极少，对环境破坏最小。主要适用于铺设中、小管径（DN200-DN1200，最大可至 DN2000 以上）的钢管、PE 管等柔性管道，穿越河流、湖泊、公路、铁路以及不宜开挖的场地。对砂层、粘土层等地层适应性好，但在砾石层、硬岩层中施工难度大。

设计要点：轨迹设计：设计合理的钻孔轨迹是成功关键。轨迹通常由入土直线段、曲线段（入土造斜段）、水平直线段、曲线段（出土造斜段）和出土直线段组成。需确定入土角、出土角、曲线半径、埋深等参数，确保轨迹平滑，避开地下障碍物，并满足管道最小弯曲半径要求。地层勘察与泥浆设计：详细的地质勘察是基础。泥浆（钻井液）在定向钻中起到护壁、润滑、冷却钻头和携带钻屑的作用。需根据地层特性设计泥浆的粘度、比重、失水性等参数。回拖力计算：准确计算管道回拖过程中的摩擦力，以此选择或校验钻机回拖能力，并设计适当的扩孔级配，以降低回拖风险^[3]。

施工流程与关键控制：主要步骤为现场勘察与准备、钻机就位、导向孔钻进、预扩孔（多级扩孔）、管道回拖、场地恢复。施工中需全程精确监控导向孔轨迹，严格控制泥浆性能与注浆压力，防止塌孔和冒浆；回拖时需保持连续、平稳，监测回拖力变化。

1.4 夯管法施工技术

夯管法利用气动或液压夯锤，将钢管沿设计路线直接夯入地层中，土体被挤压进入管内，然后通过清土设备将管内土体排出。

技术特点与适用条件：设备简单、施工成本低、速度快。但施工精度相对较低，噪音和振动较大，管径和长度受限（通常管径不大于 DN2000，长度小于 80 米）。适用于短距离穿越公路、铁路路基，对精度要求不高的钢管铺设，尤其在松散地层中具有一定优势。

设计要点：重点在于夯锤能量选择、钢管壁厚与接口设计（需能承受夯击力）、以及针对可能遇到的地下障碍物制定预案。轨迹控制主要依赖于初始定位。

施工流程：工作坑准备、导轨安装、首节管定位、夯锤击打钢管逐节进入土体、连接后续管节、贯通后清土。

1.5 管道非开挖修复与更新技术

对于旧有的、存在缺陷但仍有利用价值的给排水管道，可采用非开挖技术进行修复或更新，延长其使用寿命。

穿插法（穿插管法、折叠内衬法）：将一根新管（通常是 PE 管）拉入或顶入原有管道内，形成“管中管”结构。设计需考虑旧管变形情况、过流断面损失、新旧管间隙处理等^[4]。

原位固化法（CIPP）：将浸渍树脂的软管拉入旧管，然后通过热水、蒸汽或紫外线使其固化，形成高强度内衬管。设计核心是树脂体系选择、厚度计算及固化工艺控制。

碎管法：使用碎管设备将旧管破碎并挤入周围土体，同时拉入同径或更大直径的新管。适用于替换严重损坏的脆性管道（如混凝土管、陶土管），设计需评估对邻近管线的影响。

局部修复技术：针对管道的局部缺陷（如接口渗漏、裂缝），采用点状 CIPP、不锈钢发泡筒、化学注浆等方法进行修复，快速高效。

2 不开槽技术在市政给排水工程中的应用优势与挑战

2.1 应用优势

社会效益显著：极大减少了对城市地面交通的干扰和占用，保证了商业活动和居民生活的正常秩序，社会矛盾少。

环境友好：大幅减少了土方开挖、运输和堆放，降低了扬尘、噪音污染，保护了地表植被、景观和地下水位，符合绿色施工理念。

安全性高：在穿越河流、高速公路、铁路、既有建筑基础时，避免了深基坑开挖带来的巨大风险，施工安全更有保障。

综合经济效益可观：虽然单项技术设备投入可能较高，但综合考虑工期缩短带来的间接效益（如交通疏导费、商业补偿费减少）、对周边环境影响赔偿的降低、以及在某些复杂条件下比明挖法更低的直接成本，其全寿命周期成本往往更具优势^[5]。

适应性强：能够应对复杂的地质条件和苛刻的穿越要求，是解决城市地下空间管线敷设难题的有效手段。

施工周期短：机械化、工厂化程度高，受天气影响相对较小，有利于缩短整体工期。

2.2 面临的挑战

前期规划与协调复杂：不开槽施工，尤其是长距离穿越，需精确掌握地下既有管线、构筑物的资料，协调部门多，勘察要求极高。

设计与施工精度要求高：特别是顶管和定向钻，对轴线控制、沉降预测的精度要求远高于明挖施工，设计需更加精细化，施工需实时监测与调控。

设备依赖性强，初期投资大：大型顶管机、盾构机等设备价格昂贵，维护成本高，对施工企业的技术能力和资金实力要求高。

地质条件的不可预见性风险：地下情况复杂多变，遇到未勘测到的障碍物或异常地层（如孤石、流沙），可能导致工程停滞、设备损坏，增加成本和工期。

技术适用性选择困难：多种技术并存，如何根据具体工程条件（管径、长度、地质、环境、造价）选择最经济合理的工法，需要丰富的经验和经济技术比较。

行业标准与规范仍需完善：虽然我国已出台部分非开挖技术标准，但相较于传统工法，其在设计、施工、验收、定额等方面的标准体系仍需进一步健全和细化。

3 未来发展趋势与展望

随着科技的进步和城市发展的需求，市政给排水不

开槽技术正朝着智能化、绿色化、标准化和一体化的方向演进。

智能化与信息化：基于 BIM（建筑信息模型）技术进行全过程协同设计与施工模拟；利用物联网、传感器网络实现施工参数的实时采集、传输与智能调控（如智能顶管、智能盾构）；采用大数据和人工智能算法进行风险预测、辅助决策和优化施工方案。

绿色化与低碳化：研发低能耗、低噪音、低振动的施工装备；推广使用环保型泥浆和可降解材料；优化施工工艺，进一步减少废弃物排放和能源消耗，助力“双碳”目标实现。

技术融合与设备微型化：将不同工法优势结合，发展复合式技术。同时，为适应城市密集区更小空间、更复杂网络的施工需求，微型顶管机、微型盾构机的研发与应用将更加广泛。

标准化与规范化：进一步完善涵盖设计、施工、质量、安全、验收、造价等全链条的标准规范体系，推动行业健康有序发展。加强专业技术人才的培养与认证。

材料与工艺创新：开发更高强度、更耐腐蚀、更易连接的新型管材（如高性能复合材料管）。管道修复技术将向更快、更耐久、结构性修复能力更强的方向发展。

4 结语

市政给水排水不开槽设计及施工技术是现代城市建设走向集约化、精细化、可持续化的必然选择与重要标志。其应用从顶管、盾构、定向钻到管道修复技术，已从特殊工况补充手段发展为主流施工方式之一。实践证明，科学应用该技术能破解城市地下管线建设难题，实现经济效益、社会效益与环境效益统一。

参考文献

- [1] 李韬. 市政给水排水不开槽设计及施工技术的应用[J]. 大众标准化, 2023, (16): 159-161.
- [2] 尚琳博. 市政给水排水管道不开槽设计及施工技术分析[J]. 居业, 2021, (07): 91-92.
- [3] 张敏, 黄霞. 市政给水排水不开槽设计及施工技术探析[J]. 科学技术创新, 2020, (25): 145-146.
- [4] 戴红. 市政给水排水管道不开槽设计及施工技术[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(05): 26-28.
- [5] 胡卫钢. 论市政给水排水管道不开槽设计及施工技术[J]. 工程建设与设计, 2018, (08): 105-106.