

大截面混凝土顶管下穿河道施工技术

单超 王龙 于海峰

中建八局第三建设有限公司

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12174

[摘要] 大截面混凝土顶管在河道下穿施工过程中, 受砂层松散、地下水位高、水流冲刷等因素影响, 易出现洞口失稳、顶进阻力大、渗漏风险高等问题。为提高施工安全性和顶管推进效率, 采用小导管注浆对洞口土体进行固化, 并通过膨润土减阻技术降低摩擦阻力。河床段施工结合泥水平衡控制, 减少高压影响, 同时在管节拼装中应用防渗密封措施, 以提升整体防水性能。狭小空间回填采用预拌流态固化土, 提高填充密实度, 缩短固化时间, 确保结构稳定。

[关键词] 顶管施工; 砂层加固; 膨润土减阻; 河床穿越

一、项目概况

1. 地质特点与水文状况

本工程所处河道底部以沙壤土和流沙为主, 土层结构松散且含水量高。河道周边地下水系发达, 水位较高, 水流速度相对平稳但存在潮汐与季节性水量变化。施工区域中, 局部地段可能出现砂层冲刷或渗透风险, 如处理不当, 易引发地层坍塌、管节浮动或顶进困难等不利后果。为应对上述不良地质条件, 需在正式顶管施工前对地下水流、流沙层的分布进行系统调查, 并制定针对性的施工方案和应急预案。尤其是在河道底部高水位区, 要在围护结构、注浆加固、泥水平衡等方面采取系列技术措施, 使顶管在高地下水环境中平稳推进。

2. 管径参数与建设背景

本次施工采用 DN3000 混凝土顶管, 管外径达 3 米, 截面较大, 安装精度要求高。项目背景为新建市政排水干线与河道改造相结合, 旨在提升区域排水能力并优化沿河雨污水管网布局。顶管轴线下穿河床, 最深处理深达到数米至十余米不等, 需在复杂水文、土体条件下分段顶进。大口径顶管不仅对设备和技术要求较高, 同时受现场场地限制影响, 需谨慎安排工作井位置和施工顺序。在设计阶段, 对顶管的埋深及水平线形进行了反复论证, 并结合现场测量数据确立了科学的施工轴线及相应高程控制。

二、管道上方砂层的加固与减阻: 方法多样, 重点突出

1. 洞口高压注浆预先稳固

在顶管机进出洞口时, 土体受水土压力变化及砂层松散特性影响, 易出现坍塌、围岩变形、涌砂等不利情况, 甚至威胁施工安全。为增强洞口周边土层的稳定性, 同时形成可靠的止水屏障, 防止洞口开启时泥沙流入井坑, 本工程采用小导管注浆法对洞口外土体进行固化处理。通过定向注浆, 提高围岩整体强度, 减少顶管始发和接收阶段的地层扰动,

降低因局部失稳引发的施工风险。

本次加固采用双液注浆技术, 浆液在土体中扩散、渗透后迅速凝固, 有效提高洞口周围土体的密实度和承载力。加固范围覆盖洞口前方 5 m, 管道外侧 2~3 m 范围内布设注浆点, 以形成连续稳定的固结区域。合理控制注浆压力和流量, 使浆液在渗透过程中充分填充孔隙, 改善砂层结构, 增强抗剪能力, 为后续顶管机顺利进出创造有利条件。

施工过程中, 通过动态监测注浆压力、注入速率及土层位移, 确保浆液扩散均匀, 避免因注浆不均导致的局部加固不足或渗漏隐患。针对砂层透水性强、易冲刷的特点, 选用水泥-水玻璃双液浆, 提高早期强度, 增强止水效果, 并结合分层注浆和补强措施, 进一步提升洞口稳定性。经过合理施工, 洞口周边土体的整体强度和抗变形能力显著增强, 为顶管施工提供安全保障。

2. 膨润土注入减少摩擦阻力

在顶管施工过程中, 膨润土浆液的合理配制对减少管道外壁与周围土体之间的摩擦、提高顶进效率具有重要作用。泥浆主要成分为膨润土, 选材时优先采用胶质价高、颗粒细腻的膨润土, 以增强润滑和封闭性能。制作过程中, 通过充分搅拌使膨润土均匀分散, 并确保拌和后的泥浆静置 12 h 以上, 以提升膨润土的水化效果, 使其膨胀充分, 提高泥浆的稳定性和粘结力。膨润土运抵现场后, 需分批检测胶质指标, 并依据设计要求按重量比精确配制, 以满足不同地层条件下的施工需求。合理配制的膨润土浆液在管道顶进过程中可形成低摩擦系数的泥膜, 有效减少管壁与土层之间的阻力, 同时封闭微小孔隙, 抑制流沙流失, 增强土体稳定性。在泥浆压力作用下, 膨润土还可对周围土层提供支撑, 避免大范围沉降或坍塌。施工过程中, 需结合地层透水性及顶进阻力变化, 适时调整泥浆浓度与注入量, 使减阻与土体稳固功能兼顾。

三、局部顶管过河床

当顶管轴线经过河床中央区域时, 河道底部水压增大, 顶进风险相应提升。为保证施工安全并避免对河道正常行洪造成干扰, 需采取分段顶进与水下掘进相结合的方式。

在分段顶进时, 可通过设置临时支撑桁架或特制衬垫, 便于顶管机始发位置及沉放管节的安装。当顶管机进入河床底部高水压区段时, 应保持泥水平衡或土压平衡, 以免河道水流冲刷造成孔道坍塌。顶管设备配备泥水循环系统或土压平衡盾构装置后, 通过渣土管路与泥浆泵实时交换泥水与土体, 并维持稳定的舱内压力。

在穿越河床时, 需严密监测河道水位、河床沉降和隧道顶管姿态。若发现水压异常或顶管偏差, 应立即暂停掘进并检查注浆或泥水平衡装置是否正常, 及时纠偏并重新校准顶管方向。针对突发状况预备应急物资与设备, 如快速封堵材料或备用排水抽水装置, 以尽量减少水体倒灌或河床侵蚀的潜在威胁。

四、管道顶管无渗漏施工

无渗漏施工是大截面顶管项目的重要质量控制目标。管节拼装时, 需对接缝部位采用防水接头或柔性橡胶圈, 并在环向与纵向接缝处进行必要的密封处理, 以阻止地下水渗入。

首先, 应挑选质量过硬的混凝土管节, 检查内外表面是否平整并符合抗渗要求。其次, 在对接时配置专用密封垫圈, 并在管口环缝中涂抹止水材料或防水胶带, 以增强拼接处的整体防渗能力。当两节管道对接完毕后, 利用千斤顶或专用顶紧装置施加均匀压力, 使密封圈与管口紧密贴合。若发现密封圈出现局部错位或松动现象, 应立即重新拆卸并检查管口端面平整度, 确保拼接过程中各项技术要求得到实现。

顶进过程中还要进行阶段性渗漏检测。可采用充水或闭气的方法, 观察接口与管身内部是否存在漏点或渗流。一旦检测到水迹渗透或端口潮湿, 需立刻排查封堵。通过多道密封和不断监测, 在整个顶管施工期间有效阻断水分侵入, 从而提高管道使用寿命和工程质量。

五、工作井兼作检查井施工

1. 井底合一设计

工作井既是顶管的始发和接收场所, 也是后期管道养护与检修的必经之处。为了节约施工成本和场地资源, 可将工作井的底板与检查井的底板合并, 利用同一处混凝土结构支撑管道。井底合一设计可简化后续工序, 减少对周边环境的再次扰动。

实施过程中, 需要对工作井的深度与直径进行合理规划: 一方面保证顶管设备能够顺利吊装、组装及顶进; 另一方面

又要适应日后检修需要, 预留一定净空间来布置爬梯及通风口。此外, 井内应预埋固定件, 为后续安装检查井内梯步或检修平台提供可靠的支撑。此类兼用型工作井需满足承载力与耐久性的要求, 浇筑前应进行钢筋绑扎和模板加固, 待混凝土浇筑及养护完成后再进行顶管始发, 避免结构损伤。

2. 狭小区间回填

在工作井与检查井之间, 空间狭小、作业受限, 常规机械回填方式难以施展, 且压实度难以满足设计要求。为解决这一问题, 可采用预拌流态固化土(PFSS)进行回填。该材料以基坑开挖弃土为主要原料, 配以专用岩土固化剂和适量水, 通过振动搅拌设备拌和形成流动性强、自密实的回填材料。PFSS可通过罐车运输, 采用泵送或溜槽进行现场浇筑, 能够顺利填充狭窄空间, 减少空洞遗留, 提升整体密实度, 同时避免因机械碾压受限导致的回填质量下降。

PFSS具有较强的流动性, 坍落度控制在 200 ± 20 mm, 施工后可在短时间内完成固化, 12 h内达到上人施工强度, 能够显著缩短工期, 提高施工效率。其自密实特性无需额外振捣, 即可形成均匀密实的填充层, 确保回填质量可控。此外, 材料的早期强度较高, 能够在短时间内提供稳定支撑, 防止后续结构受回填不均匀影响而产生沉降或变形。

施工过程中, 需结合回填空间特点, 合理布设泵送点位, 使PFSS均匀充盈整个狭小区间。填充过程中设置排气孔, 及时排出空气或多余水分, 并通过观察孔动态监测回填扩散情况, 避免形成局部空洞或填充不均现象。经过合理施工, PFSS可有效增强结构整体性, 同时具备良好的防渗、减震、抗沉降性能, 为后续管道运行及维护提供稳定的支撑环境。

六、结语

大截面混凝土顶管下穿河道施工涉及多项技术难点, 施工过程中既要应对砂层松散、地下水位高等不良地质条件, 也要控制顶进过程中的阻力和渗漏风险。通过小导管注浆加固洞口土体, 减少洞口开启时的扰动, 并采用膨润土浆液降低摩擦, 提高顶管推进的稳定性。河床段顶进结合泥水平衡控制, 避免水压突变对施工造成影响, 同时在管节拼装时采取密封措施, 确保接口无渗漏。对于狭小空间的回填, 利用预拌流态固化土, 提高填充密实度, 并缩短固化时间, 加快施工进度。各项技术措施相互配合, 使顶管施工适应复杂地质环境, 提高施工质量和安全性。

[参考文献]

[1] 给排水工程顶管技术规程 给排水规范: CECS 246—2008[S].

[2] 非开挖顶管—技术规程: DBJ/T 13—309—2019[S].